



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 695 35 692 T2 2009.01.22

(12)

## Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) EP 1 353 165 B1

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: G01N 21/88 (2006.01)

(21) Deutsches Aktenzeichen: 695 35 692.5

(96) Europäisches Aktenzeichen: 03 014 032.1

(96) Europäischer Anmeldetag: 11.07.1995

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: 15.10.2003

(97) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung beim EPA: 16.01.2008

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: 22.01.2009

(30) Unionspriorität:  
274310 13.07.1994 US

(73) Patentinhaber:  
KLA-Tencor Corp., San Jose, Calif., US

(74) Vertreter:  
Dr. Weber, Dipl.-Phys. Seiffert, Dr. Lieke, 65183  
Wiesbaden

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
DE, GB

(72) Erfinder:  
Emery, David Garth, San Jose, California 95126,  
US; Saidin, Zain Kahuna, Sunnyvale, California  
94086, US; Wihi, Mark J., Tracy, California 95376,  
US; Fu, Tao-Yi, Fremont, California 94539, US;  
Zywno, Marek, San Jose, California 95120, US;  
Kvamme, Damon F., Los Gatos, CA 95032, US;  
Fein, Michael E., Mountain View, California 94040,  
US

(54) Bezeichnung: Verfahren und Vorrichtung zur automatisierten Prüfung von Photomasken

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]** Die vorliegende Erfindung betrifft im Allgemeinen elektro-optische Überprüfungssysteme und insbesondere eine Vorrichtung zur automatisierten Prüfung von Photomasken zum Ermitteln von Defekten auf optischen Masken und Retikeln und Ähnlichem.

**HINTERGRUND DER ERFINDUNG**

**[0002]** Integrierte Schaltkreise werden durch photolithographische Verfahren, die Photomasken oder Retikel verwenden und eine zugehörige Lichtquelle erzeugt, um ein Schaltkreisbild auf einen Siliziumwafer zu projizieren. Ein hoher Produktionsertrag ist vom Vorhandensein defektloser Masken und Retikel abhängig. Da das Auftreten von Defekten in der Maske unvermeidbar ist, müssen diese Defekte vor der Verwendung der Maske gefunden und repariert werden.

**[0003]** Automatisierte Maskenüberprüfungssysteme gibt es bereits seit mehr als 15 Jahren. Das erste derartige System, das Bell Telephone Laboratories AMIS System (John Bruning et al., „An Automated Mask Inspection System – AMIS“, IEEE Transaction on Electron Devices, Vol. ED-22, Nr. 7 Juli 1971, S. 487 bis 495), verwendete einen Laser, der die Maske abtastete. Darauffolgende Systeme verwendeten einen linearen Sensor, um ein von der Maske projiziertes Bild zu prüfen, wie z. B. von Levy et al. beschrieben (US-Patent mit der Seriennummer 4,247,203, „Automatic Photomask Inspection System and Apparatus“), die Rohchip-zu-Rohchip-Prüfung lehren, d. h. die Überprüfung zweier nebeneinanderliegender Rohchips durch den Vergleich miteinander. Alternativ lehrt Danielson et al. (US-Patent mit der Seriennummer 4,926,489, „Reticle Inspection System“) Rohchip-zu-Datenbanküberprüfung, d. h. eine Prüfung des Retikels durch Abgleich mit der Datenbank, aus der der Retikel erzeugt wurde.

**[0004]** Ebenso wie sich die Komplexität integrierter Schaltkreise gesteigert hat, hat sich auch die Anforderung an das Prüfungsverfahren gesteigert. Sowohl die Notwendigkeit, kleinere Defekte zu beheben als auch größere Bereiche zu prüfen führten zu viel höheren Geschwindigkeitsanforderungen bezüglich der Anzahl der Bildelemente, die in der Sekunde weiterverarbeitet werden. Die erhöhten Anforderungen führten zu Verbesserungen, die in einer Vielzahl darauffolgender veröffentlichter Patente beschrieben sind, wie z. B. im US-Patent mit der Seriennummer 4,247,203 mit dem Titel „Automatic Photomask Inspection System and Apparatus“, Levy et al., veröffentlicht am 27. Januar 1981, US-Patent mit der Seriennummer 4,579,455 mit dem Titel „Photomask Inspection Apparatus and Method with Improved Defect Detection“, Levy et al., veröffentlicht am 1. April 1986, US-Patent mit der Seriennummer 4,633,504 mit dem Titel „Automatic Photomask Inspection System Having Image Enhancement Means“, Mark J. Wihl, veröffentlicht am 30. Dezember 1986 und US-Patent mit der Seriennummer 4,805,123 mit dem Titel „Automatic Photomask Inspection and Reticle Inspection Method and Apparatus Including Improved Defect Detector and Alignment Subsystem“, Specht et al., veröffentlicht am 14. Februar 1989. Ebenfalls relevant ist der Stand der Technik im Waferprüfungsbereich wie z. B. das US-Patent mit der Seriennummer 4,644,172 mit dem Titel „Electronic Control of an Automatic Wafer Inspection System“, Sandland et al., veröffentlicht am 17. Februar 1987.

**[0005]** Ein weiterer Einfluss, der die Entwicklung besserer Prüfungsverfahren antreibt, ist das Entstehen der Phasenverschiebungsmaskentechnologie. Mit dieser Technologie wird es möglich sein, feinere Linienbreiten bis hinunter zu 0,25 Mikrometern oder weniger zu drucken. Diese Technologie wird von Burn J. Lin beschrieben in „Phase-Shifting and Other Challenges in Optical Mask Technology“, Proceedings of the 10th Annual Symposium on Microlithography, SPIE, – the International Society of Optical Engineering, Vol. 1496, S. 54 bis 79.

**[0006]** Die oben genannten Verbesserungen lehren die automatische Erfassung von Defekten an konventionellen optischen Masken und Retikeln. In all diesen Systemen wird eine konventionelle Beleuchtung verwendet und die Bilder werden von linearen Arraysensoren erfasst. Diese zwei Systemauswahlen beschränken das Signal-zu-Rausch-Verhältnis und somit die Geschwindigkeit der Prüfung.

**[0007]** Außerdem wird in der Halbleiterherstellungsindustrie zum Übertragen photolithographischer Muster auf ein Substrat, wie z. B. Silizium, Galliumarsenid oder Ähnliches, während der Herstellung integrierter Schaltkreise eine Photomaske verwendet. Die Photomaske besteht üblicherweise aus einem polierten transparenten Substrat wie z. B. einer Quarzglasplatte, an der auf einer Oberfläche eine dünne gemusterte opake Schicht, die aus Figuren besteht, abgeschieden wurde. Üblicherweise besteht die gemusterte opake Schicht aus

Chrom und hat eine Dicke von 800 bis 1200 Ångström. Diese Schicht kann eine dünne Antireflektionsbeschichtung aufweisen, die auf eine oder beide Flächen des Chroms aufgebracht ist. Um funktionierende integrierte Schaltkreise bei einem hohen Ertragssatz zu erzeugen, müssen die Photomasken mangelfrei sein. Ein Defekt ist hier als jede unbeabsichtigte Änderung des beabsichtigten photolithographischen Musters, die während der Herstellung der Photomaske verursacht wurde, oder als ein Ergebnis der Verwendung der Photomaske definiert. Defekte können von einem Abschnitt der opaken Schicht, der sich abseits eines Bereichs des photolithographischen Musters befindet, an dem er vorhanden sein soll, einem Abschnitt der opaken Schicht, der sich in einem Bereich des photolithographischen Musters befindet, in dem er nicht vorhanden sein soll, chemischen Flecken oder Rückständen der Photomaskenherstellungsverfahren, die eine unbeabsichtigte, örtlich begrenzte Änderung der Lichtübertragungseigenschaft der Photomaske verursachen, partikelförmige Verschmutzungen wie Staub, Photolackflocken, Hautflocken, Verschleiß des photolithographischen Musters aufgrund elektrostatischer Entladung, Substanzen im Photomaskensubstrat wie z. B. Vertiefungen, Kratzer und Schlieren und örtlich begrenzten Lichtübertragungsfehlern in der Substrat- oder der opaken Schicht herrühren und nicht darauf beschränkt sein. Während der Herstellung von Photomasken wird eine automatische Überprüfung der Photomaske durchgeführt, um eine Freiheit bezüglich der bereits genannten Defekte sicherzustellen.

**[0008]** Es gibt derzeit zwei Verfahren zur Überprüfung gemusterter Masken oder Retikel. Eines dieser Überprüfungsverfahren ist die Rohchip-zu-Rohchip-Überprüfung, die transmittiertes Licht verwendet, um entweder zwei benachbarte Rohchips oder einen Rohchip mit der CAD-Datenbank dieses Rohchips vergleicht. Diese vergleichartigen Überprüfungssysteme sind ziemlich teuer, da sie auf einem Pixel-für-Pixel-Vergleich aller Rohchips und wenn nötig auf hochgenauen Verfahren zum Ausrichten der beiden Rohchips, die jeweils für den Vergleich verwendet werden, beruhen. Abgesehen von ihren hohen Kosten kann dieses Überprüfungsverfahren auch keine Partikel auf opaken Teilen des Retikels erfassen, die anschließend tendenziell auf Teile übergehen, die transparent sind und dann einen Defekt auf dem Wafer verursachen. Dieses Überprüfungsverfahren ist in den US-Patenten mit den Seriennummern 4,247,203 und 4,579,455, beide von Levy et al. beschrieben.

**[0009]** Das zweite Überprüfungsverfahren gemusterter Masken des aktuellen Stands der Technik ist darauf beschränkt, partikelförmige Substanzen auf der Maske ausfindig zu machen. Es nutzt die Tatsache, dass Licht gestreut wird, wenn es auf einen Partikel trifft. Leider verursachen die Ränder des Musters auch eine Streuung und deshalb sind diese Systeme unzuverlässig für die Erfassung von Partikeln von weniger als 1 Mikrometer. Derartige Systeme sind in einer Veröffentlichung mit dem Titel „Automatic Inspection of Contaminates on Reticles“ von Masataka et al. beschrieben, SPIE Vol. 470 Optical Microlithography III, S. 233–240 (1984).

**[0010]** Das US-Patent mit der Seriennummer 4,922,308 beschreibt ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Erfassen fremder Substanzen auf einem Retikel. Diese Anwendung beschreibt die Art der Verwendung eines Phasenkontrastmikroskops, um Filmverunreinigungen von Partikelfremdkörpern zu unterscheiden.

**[0011]** Das US-Patent mit der Seriennummer 4,727,481 beschreibt einen Fehlerdetektor zur Erfassung von Fehlern in bahnförmigen Materialien wie Papier, Blech oder Vinylfolie.

**[0012]** Jüngst beschrieben Wihl et al. im US-Patent mit der Seriennummer EP 0 532 927 A2 ein Verfahren zur Überprüfung von Photomaskensubstraten, das sowohl reflektiertes als auch transmittiertes Licht verwendet und schlugen die Verwendung von beidem vor, um Defekte einzuteilen.

**[0013]** Es wäre vorteilhaft, die Verwendung sowohl von reflektiertem als auch von transmittiertem Licht so zu erweitern, dass die Notwendigkeit der Verwendung eines Rohchip-zu-Rohchip-Vergleichs zur Erfassung von Partikeln umgangen wird. Es wäre ebenfalls vorteilhaft, ein System zu haben, das auch ohne die Verwendung eines Rohchip-zu-Rohchip-Vergleichs den Ort des Defekts auf dem Substrat ermitteln kann. Viele Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung stellen ein derartiges System und Verfahren bereit.

**[0014]** Ein wichtiges Ziel eines ersten hier beschriebenen Beispiels ist es, eine neue Defekterfassungsvorrichtung bereitzustellen, die sowohl transmittiertes als auch reflektiertes Licht verwenden kann, um ein Substrat zu überprüfen.

**[0015]** Ein weiteres Ziel des ersten Beispiels ist es, eine Einrichtung des beschriebenen Typs bereitzustellen, in der Flächenerhebungen über einer Bezugserhebung unter Verwendung interferometrischer Prinzipien optisch bestimmt und als Defektanzeigeelement verwendet werden.

**[0016]** Ein weiteres Ziel des ersten Beispiels ist es, eine Einrichtung des beschriebenen Typs bereitzustellen,

die das gleiche optische System verwendet, um Defekte zu erfassen und Linienbreiten zu messen.

**[0017]** Kurz gesagt enthält eine bevorzugte Ausführungsform des ersten Beispiels eine X-Y-Verschiebeeinheit (12) zum Transportieren eines Substrats (14) bei der Prüfung auf einem gewundenen Pfad in einer X-Y-Ebene, ein optisches System (16) mit einem Laser (30), einen Detektor für transmittiertes Licht (34), einen Detektor für reflektiertes Licht (36), optische Elemente, die Referenzstrahlpfade und Belichtungsstrahlpfade zwischen dem Laser, dem Substrat und den Detektoren bestimmen, und einem akustooptischen Strahlenscaner (40, 42) erleuchten, um die Belichtungs- und Referenzstrahlen relativ zu der Substratoberfläche abzutasten, und ein elektronisches Steuer-, Analyse- und Anzeigesystem zum Steuern des Betriebs der Verschiebeeinheit und des optischen Systems und zum Auswerten und Speichern des Signalausgangs der Detektoren. Die Vorrichtung ist in einem Rohchip-zu-Rohchip-Vergleichsmodus oder einem Rohchip-zu-Datenbankmodus betreibbar.

**[0018]** Ein Vorteil des ersten Beispiels ist, dass es eine Laserlichtquelle verwendet und somit eine viel größere Helligkeit hat, um die Maske zu überprüfen. Es unterscheidet sich insofern von dem von Bruning et al. beschriebenen AMIS-System, dass es anstatt eines mechanischen Systems ein elektrooptisches Ablenkungsverfahren einsetzt. Offensichtlich ist das elektrooptische Verfahren schneller und flexibler als eine mechanische Vorrichtung. Allerdings haben sogar konventionelle elektrooptische Ablenkungen keine ausreichende Geschwindigkeit, um die Systemanforderungen zu erfüllen. Im ersten Beispiel wird die Geschwindigkeit durch die Verwendung einer Ablenkungsvorrichtung erhöht, die vorher für die Laserstrahlenerfassung vom US-Patent mit der Seriennummer 3,851,951 von Jason H. Eveleth mit dem Titel „High Resolution Laser Beam Recorder with Self-Focusing Acousto-Optic Scanner“, veröffentlicht am 3. Dezember 1974, beschrieben wurde.

**[0019]** Ein weiterer Vorteil ist die Verwendung einer Verschiebeeinheit, die nur zwei Freiheitsgrade hat. Der Stand der Technik enthält auch eine Drehbarkeit, die mit beachtlichen Kosten und Komplexität verbunden ist. Im ersten Beispiel wird die effektive Abtastrichtung durch das gleichzeitige Betreiben beider Achsen der Verschiebeeinheit gesteuert.

**[0020]** Eine weitere wichtige Abweichung von der vorherigen Gestaltung ist die Fähigkeit des vorliegenden Systems, Defekte sowohl mit transmittiertem als auch mit reflektiertem Licht zu erfassen. Diese Fähigkeit ist wichtig, da die zusätzliche Information beim Bestimmen der Beschaffenheit des Defekts hilfreich ist und dadurch eine automatische Zuordnung von Fehlern ermöglicht.

**[0021]** Noch ein weiterer Vorteil des ersten Beispiels ist dessen Fähigkeit, Phasenverschiebungsmasken zu überprüfen. Es wird angenommen, dass Phasenverschiebungsmaskentechnologie in den 1990er-Jahren verwendet wird, um Linienbreiten von 0,10 Mikrometern zu erreichen. Im ersten Beispiel kann das Phasenverschiebungsmaterial an allen Punkten auf einem Maskenbereich mit der normalen Scangeschwindigkeit des Systems gemessen werden.

**[0022]** Ebenfalls vorteilhaft ist die Fähigkeit des vorliegenden Systems, Linienbreitenmessungen auf der Maske durchzuführen. Dies ist ein wesentlicher Vorteil, da zuvor zwei verschiedene Arten von Instrumenten eingesetzt wurden, sowohl zur Defekterfassung als auch zur Linienbreitenmessung. Die Fähigkeit, ein einziges Instrument zu nutzen, führt zu einer Zeitsparnis und – was wahrscheinlich wichtiger ist – zu weniger Hantieren mit der Maske, was wiederum für die Kontrolle über die Verunreinigung wichtig ist.

**[0023]** Eine neuartige Eigenschaft des ersten Beispiels ist das eingesetzte Autofokusverfahren. Vorherige Maskenüberprüfungssysteme verwendeten Autofokussysteme, die vom Muster auf der Maske beeinflusst wurden. Das erste Beispiel arbeitet unabhängig von dem Muster. Eine erhebliche Neuerung des vorliegenden Systems ist auch die Zwei-Achsen-Vorspannung der Luflager der Verschiebeeinheit. Durch dieses abgewinkelte Ladeverfahren wird eine außergewöhnliche Festigkeit erreicht.

**[0024]** Ebenfalls neu ist das Korrekturverfahren für Lichtintensitätsschwankungen. Im Stand der Technik wurde die räumliche Ungleichmäßigkeit der Belichtung vor einer Überprüfung bestimmt, jedoch gab es keine Vorehrungen zum Ausgleich der Ungleichmäßigkeit während der Überprüfung oder – was wahrscheinlicher ist – Schwankungen des absoluten Intensitätsgrades während der Überprüfung. Im ersten Beispiel wird die Intensität stetig überprüft und sofort in Echtzeit ausgeglichen. Somit beeinflussen Schwankungen der primären Lichtquelle mit der Zeit nicht die Genauigkeit des Überprüfungsprozesses. Wieder eine andere Fähigkeit des ersten Beispiels ist es, die Maske im Wesentlichen bei der gleichen Wellenlänge, die beim Bedrucken des Wafers (Belichtung) durch die Maske verwendet wird, zu prüfen. Durch die Fortschritte in der Technologie werden immer kürzere Wellenlängen zum Drucken verwendet. Da sich das Auftreten von Defekten in Abhängigkeit von

der Wellenlänge der Belichtung ändert, ist es wichtig, ungefähr die gleiche Wellenlängenlichtquelle für die Überprüfung und das Drucken zu verwenden.

**[0025]** In Übereinstimmung mit einem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung wird ein neuartiges Verfahren und eine neuartige Vorrichtung zur Überprüfung von Photomasken bei einer hohen Empfindlichkeit bereitgestellt, um Submikronpartikelkontaminierung, chemische Flecken und Rückstände, und örtlich begrenzte Übertragungsschwankungen durch Verwenden von synchronisierten, transmittierten und reflektierten Lichtsignalen zu erfassen (d. h. vom gleichen Ort auf dem Substrat entweder mit dem gleichen Lichtstrahl oder zwei Lichtstrahlen von gleicher Intensität und gleicher Querschnittsgröße und -form, die den gleichen Ort auf dem Substrat belichtet).

**[0026]** Der erste Aspekt der vorliegenden Erfindung stellt auch eine neuartige Vorrichtung und ein neuartiges Verfahren für die Überprüfung eines Substrats bereit, das das Erfordernis einer Bezugsdatenbank oder einer Vielzahl identischer photolithographischer Bilder für die Erfassung von Partikelkontaminierung, chemischer Flecken und Rückständen und örtlich begrenzter Übertragungsschwankungen ausschließt.

**[0027]** Außerdem stellt der erste Aspekt der vorliegenden Erfindung ein Verfahren und ein automatisches System bereit, das kein Subsystem zum Gleichrichten erfordert, um Photomasken zum Erfassen von Partikelkontaminierung, chemischen Flecken und Rückständen und örtlich begrenzten Übertragungsschwankungen zu überprüfen.

**[0028]** Des Weiteren stellt der erste Aspekt der vorliegenden Erfindung eine neuartige Vorrichtung und ein neuartiges Verfahren zum Erfassen von Partikelkontaminierung, chemischen Flecken und Rückständen und örtlich begrenzten Übertragungsschwankungen, die sich nahe bei und in Kontakt mit den Rändern von Figuren befinden.

**[0029]** Des Weiteren stellt der erste Aspekt der vorliegenden Erfindung eine neuartige Vorrichtung und ein neuartiges Verfahren zur automatischen Zuordnung von Defekten, die entsprechend ihres Typs nur unter Verwendung von transmittierten und reflektierten Lichtinformationen erfasst werden, bereit.

**[0030]** Der erste Aspekt der vorliegenden Erfindung basiert auf einem Laserscanner, einem optischen Bearbeitungssubsystem, einer Verschiebeeinheit, Reflexions- und Transmissionsdetektoren und einem Autofokus-subsystem wie in der oben zitierten Patentanmeldung von Wihl.

**[0031]** Diese und andere Ziele und Vorteile aller Aspekte der vorliegenden Erfindung wenden dem Fachmann zweifellos offensichtlich werden, nachdem er die folgende detaillierte Beschreibung der bevorzugten Ausführungsformen gelesen hat, die in den verschiedenen Figuren der Zeichnung gezeigt sind.

#### KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

**[0032]** [Fig. 1](#) ist ein vereinfachtes funktionelles Blockdiagramm eines Lasermaskenüberprüfungssystems in Übereinstimmung mit dem ersten Beispiel.

**[0033]** [Fig. 2](#) ist eine detailliertere schematische Darstellung des in [Fig. 1](#) dargestellten optischen Subsystems.

**[0034]** [Fig. 3](#) ist ein Diagramm, das den im Rohchip-zu-Rohchip-Überprüfungsmodus verwendeten Abtastpfad zeigt.

**[0035]** [Fig. 4](#) ist ein Diagramm, das den im Rohchip-zu-Datenbank-Überprüfungsmodus verwendeten Abtastpfad zeigt.

**[0036]** Die [Fig. 5](#) und [Fig. 6](#) sind Diagramme, die im Autofokus-System verwendete mögliche Strahlquerschnitte zeigen.

**[0037]** [Fig. 7](#) ist eine teilweise weggebrochene perspektivische Zeichnung, die die X-Y-Verschiebeeinheit zeigt.

**[0038]** [Fig. 8](#) ist ein Querschnitt entlang der Linie 8-8 aus [Fig. 7](#), der Einzelheiten des Baurahmens der Verschiebeeinheit zeigt.

[0039] [Fig. 9](#) ist ein Querschnitt entlang der Linie 9-9 aus [Fig. 7](#), der andere Einzelheiten des Baurahmens der Verschiebeeinheit zeigt.

[0040] [Fig. 10](#) ist eine Abbildung eines Querschnitts einer typischen Phasenverschiebungsmaske, die im vergrößerten Maßstab eine Darstellung des phasenverschobenen Ausgangs des reflektierten Strahlendetektors zeigt.

[0041] [Fig. 11](#) ist eine Abbildung der erfassten sinusförmig variierten Signalintensität während die Maske im Phasenverschiebungsmessmodus abgetastet wird.

[0042] [Fig. 12](#) ist ein Blockdiagramm, das ein phasenstarr gekoppeltes Schleifensubsystem darstellt, welches verwendet wird, um die Dicke des Phasenverschiebungsmaterials zu erfassen.

[0043] Die [Fig. 13a](#) und [Fig. 13b](#) sind vereinfachte, schematische Diagramme, die jeweils den Betrieb des optischen Subsystems darstellen, welches verwendet wird, um die Dicke des Phasenverschiebungsmaterials in den transmittierten und reflektierten Lichtmodi zu messen.

[0044] [Fig. 14](#) ist eine Abbildung, die verwendet wird, um das Verfahren der Linienbreitenmessung zu beschreiben.

[0045] [Fig. 15](#) ist ein vereinfachtes funktionelles Blockdiagramm des Lasermaskenüberprüfungssystems des ersten Aspekts der vorliegenden Erfindung und eine Abwandlung von [Fig. 1](#).

[0046] [Fig. 16](#) ist eine detailliertere schematische Darstellung des optischen Subsystems, das in [Fig. 15](#) beschrieben ist und eine Abwandlung von [Fig. 2](#).

[0047] [Fig. 17](#) ist ein normalisiertes Diagramm der transmittierten und reflektierten Lichtsignale, die von Sensoren des ersten Aspekts der vorliegenden Erfindung für einen Scan des Laserscanners erfasst wurden.

[0048] [Fig. 18](#) ist ein normalisiertes Diagramm der transmittierten, reflektierten und Summensignale für ein optisches Subsystem des ersten Aspekts der vorliegenden Erfindung, das die Auswirkung von Partikelkontaminierung auf diese Signale zeigt.

[0049] [Fig. 19](#) ist ein Schaubild des Verhältnisses zwischen transmittierten und reflektierten Lichtsignalpaaren in Abwesenheit von Defekten gemäß dem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung.

[0050] [Fig. 20](#) ist wie [Fig. 19](#) ein Graph, der die zusätzlichen Orte von Punkten, die sich aus der Partikelkontaminierung auf der opaken Schicht, an der Kante eines Merkmals und auf dem Photomaskensubstrat gemäß dem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung ergeben.

[0051] [Fig. 21](#) ist ein Schaubild transmittierter Lichtwerte im Vergleich zu der zweiten Ableitung der transmittierten Lichtwerte gemäß dem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung.

[0052] [Fig. 22](#) ist ein Schaubild reflektierter Lichtwerte im Vergleich zu der zweiten Ableitung der reflektierten Lichtwerte gemäß dem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung.

[0053] [Fig. 23a](#) ist ein gepixeltes Transmissionsbild des Substrates, das überprüft wird.

[0054] [Fig. 23b](#) ist ein zweites gepixeltes Bild der zweiten Ableitung der Transmission, das vom gepixelten Transmissionsbild des Substrates, das überprüft wird, stammt.

[0055] [Fig. 24](#) ist ein gemeinsames Blockdiagramm, das in drei Reihen gezeigt ist, wobei die Transmissions- und Reflexionspixelabbildungen Eingabesignale bilden, die von einer ausgewählten Anzahl von verschiedenen Filtern bearbeitet werden, die Filterausgangssignale paarweise in der zweiten Schicht verbunden werden und die dritte Schicht eine Verbindungsfunktion bereitstellt, um all diejenigen Defekte, die aus jeder der paarweisen Signalkombinationen der zweiten Schicht erfasst werden, zu ermitteln.

[0056] [Fig. 25](#) ist eine typische Darstellung eines neuronalen BPN-Netzwerks.

## ERSTES BEISPIEL

**[0057]** In der Zeichnung ist bei **10** in Übereinstimmung mit dem ersten Beispiel ein Blockdiagramm eines automatischen optischen Überprüfungssystems gezeigt. Das System kann Substrate wie z. B. Retikel, Photomasken, Halbleiterwafer und Phasenverschiebungsmasken überprüfen.

**[0058]** Das System kann mehrere Formen der Überprüfung durchführen: transmittierte Lichtüberprüfung, reflektierte Lichtüberprüfung, gleichzeitige Überprüfung von reflektiertem und transmittiertem Licht und Phasenverschiebungsmessungen. Bei der Überprüfung mit transmittiertem Licht trifft Licht auf das Substrat, z. B. eine Photomaske, auf und die Lichtmenge, die durch die Maske transmittiert wird, wird erfasst. Bei der Überprüfung mit reflektiertem Licht wird das Licht, das von einer Oberfläche des geprüften Substrats reflektiert wird, gemessen. Während der Phasenverschiebungsüberprüfung wird die Menge der Phasenverschiebung zwischen zwei zusammenhängenden Lichtstrahlen an jedem Punkt auf der Maske erfasst während gleichzeitig die Überprüfung mit transmittiertem Licht stattfindet. Die Phasenverschiebung ist proportional zu der relativen Erhebung der Oberfläche, von der die Strahlen reflektiert werden. Wie unten erklärt wird, wird das transmittierte Lichtsignal verwendet, um das Phasenverschiebungssignal näher zu bestimmen. Neben diesen Defekterfassungsabläufen kann das System auch Liniendurchmessungen durchführen.

**[0059]** In allen Defekterfassungsabläufen wird ein Vergleich zwischen zwei Bildern angestellt. Beim Rohchip-zu-Rohchip-Überprüfungsmodus werden zwei Bereiche des Substrats mit identischen Merkmalen (Rohchip) miteinander verglichen und jede wesentliche Abweichung wird als Defekt gekennzeichnet. Beim Rohchip-zu-Datenbank-Überprüfungsmodus wird ein Defekt durch Vergleichen des Rohchips in der Prüfung mit entsprechenden Graphikinformationen erfasst, wobei die Graphikinformation aus der CADS-(Computer Aided Database System-)Datenbank stammt, von der der Rohchip abgeleitet wurde. In letzterem Fall wird die CADS-Datenbank in ein Bildformat wie im US-Patent mit der Seriennummer 4,926,489 (Danielson et al., „Recticle Inspection System“, veröffentlicht am 15. Mai 1990) beschrieben umgewandelt.

**[0060]** Wie im vereinfachten Blockdiagramm aus [Fig. 1](#) dargestellt besteht eine bevorzugte Ausführungsform des Systems **10** aus einer Verschiebeeinheit **12** zum Halten eines zu überprüfenden Substrats **14**, einem optischen Subsystem **16**, einem Datenbankanschluss **18**, einem Elektroniksubsystem **20**, einer Anzeige **22**, einem Steuerrechner **24** und einer Tastatur **26**.

## DIE VERSCHIEBEEINHEIT

**[0061]** Auch wenn eine bevorzugte Ausführungsform der Verschiebeeinheit **12** unten detailliert beschrieben ist, reicht es an diesem Punkt zu sagen, dass die Verschiebeeinheit ein Präzisionsvorrichtungsantrieb unter der Steuerung des Subsystems **20** ist und das Substrat **12** bei der Prüfung serpentinartig in einer einzigen Ebene relativ zu den optischen Achsen des optischen Subsystems **16** bewegen kann, sodass die gesamte oder ein Teil der Substratoberfläche überprüft werden kann.

## DAS OPTISCHE SUBSYSTEM

**[0062]** Ein detailliertes Blockdiagramm des optischen Subsystems **16** ist in [Fig. 2](#) gezeigt und ist im Wesentlichen eine Laserscannervorrichtung mit einer Lichtquelle **302** und der dazugehörigen Optik, die veranlasst, dass ein Strahl **32** kohärenten Lichts über einen kleinen Winkel abgelenkt wird, d. h. von einer Seite auf die gegenüberliegende Seite der optischen Achse, die durch das optische Subsystem **16** gebildet wird. Wie unten weiter beschrieben wird, erfolgt die Strahlablenkung in einer Richtung sodass er, nachdem er das optische System passiert am Substrat **14** betrachtet parallel zu der Y-Achse verläuft. Während der Strahl abgelenkt wird, wird die Verschiebeeinheit **12**, die das Substrat **14** in der Prüfung hält, veranlasst, sich in Richtung der X-Achse vor und zurück zu bewegen, wobei sie am Ende jeder Querung um einen Schritt bewegt wird in Richtung der Y-Achse, sodass der Strahl **32** veranlasst wird, entlang eines Serpentinenpfades **31** über eine Vielzahl bestimmter Substratunterbereiche **33, 35, 37** (im Falle einer Photomaske ein einzelner Rohchip) wie in [Fig. 3](#) und [Fig. 4](#) gezeigt abgelenkt zu werden. Auf diese Weise wird der gesamte Oberflächenbereich des Substrats (Maske) **14** durch den Laserstrahl in eine Reihe von zusammenhängenden Schwaden **39** abgetastet. Im Falle eines transparenten oder teilweise transparenten Substrats wird die Erfassung des Bildes von einem Transmissionsdetektor **34** durchgeführt. Im Falle eines reflektierenden oder teilweise reflektierenden Substrats wird das vom Substrat reflektierte Licht von einem Detektor für reflektiertes Licht **36** erfasst. Wie später genauer beschrieben wird, wird die Phasenverschiebungsmaskenüberprüfung unter gleichzeitiger Verwendung dieser beiden Detektoren durchgeführt.

**[0063]** Die Lichtquelle **30** des Systems ist ein Laser wie z. B. das Modell 5490A5L-00C-115 von Ion Laser Technology in Salt Lake City, Utah. Der Lichtstrahl **32**, der von dem Laser **30** emittiert wird, geht zuerst durch ein räumliches Filter **38** und wird dann durch die Kombination von zwei akusto-optischen Elementen, einem akusto-optischen Prescanner **40** und einem akusto-optischen Scanner **42**, abgelenkt. Diese zwei Elemente lenken den Lichtstrahl in der Y-Richtung ab und fokussieren ihn in der X-Richtung auf ähnliche Weise wie im US-Patent mit der Seriennummer 3,851,951 (Jason H. Eveleth, „High Resolution Laser Beam Recorder with Self-focusing Acoustooptic Scanner“, veröffentlicht am 3. Dezember 1974) beschrieben. Das Ablenkungssystem enthält auch einen Strahlaufweiter **44** und eine  $\lambda/4$ -Platte **46**.

**[0064]** Wenn der Strahl aus dem Scanner **42** austritt, ist er in der Y-Richtung konvergent, in der X-Richtung jedoch kollimiert. Eine zylindrische Linse **50** fokussiert den Strahl dann auch in der X-Richtung, wobei die Brennebene für die X- und Y-Achse auf einer Feldblende **52** liegt. Der Strahl geht dann durch die  $\lambda/4$ -Platte **54** und eine Umsetzlinse **56**.

**[0065]** Der Strahl wird dann von einem Spiegel **58** reflektiert, dessen einzige Funktion es ist, den optischen Pfad zu falten. Der abgelenkte Strahl trifft dann auf einen Strahlteilerwürfel **60**, der ihn dann in die Pfade **62** und **64** teilt. Der letztere Pfad wird nur im Phasenmessungsmodus verwendet und wird andernfalls von einer Blende **63** blockiert.

**[0066]** Der Strahl, der entlang des Pfades **62** weiterverläuft wird von einem oszillierenden Spiegel **65** reflektiert, der während des Überprüfungsablaufs fest gehalten wird und nur verwendet wird, um dem Betreiber während des Ausrichtens und Überprüfens auf einer Bildanzeige ein Bild anzuzeigen (nicht gezeigt in [Fig. 2](#)). Ein Dove-Prisma **66** wird verwendet, um die Scanrichtung um die optische Achse zu drehen. Der Ausgang des Prismas **66** wird in eines der Teleskope **68** und **70** gespeist, die auf einem drehbaren Revolver **72** angebracht sind. Zweck dieser Teleskope ist es, die Größe des Scanortes auf dem Substrat **14** zu variieren und dadurch die Auswahl der erfassbaren Mindestdefektgröße zu ermöglichen. Da das Verändern des Vergrößerungsmaßstabs auch die Länge des Scans verändert, wird die Schwadenbreite und somit auch die Überprüfungs geschwindigkeit verändert. (Nur zwei Teleskope sind gezeigt, jedoch kann offensichtlich jede Anzahl von Teleskopen und somit von Punktgrößen verwendet werden.)

**[0067]** Vom Teleskop aus geht der Strahl auf einen Spiegel **74** und dann zu einem Strahlteiler **76**, wo der Pfad erneut geteilt wird. Der reflektierte Abschnitt des Strahls **78** wird zu einem Detektor **80** geleitet, der als Überwachungsgerät der Intensitätsschwankungen des Strahls dient. Der unreflektierte Teil des Strahls geht durch eine Objektivlinse **82**, die den Strahl auf das Substrat **14** fokussiert. Licht, das durch das Substrat **14** geht, wird dann von einem Kondensor **84** und einer Sammellinse **86** erfasst und auf den Transmissionsdetektor **34** fokussiert.

#### AUTOFOKUS-SUBSYSTEM

**[0068]** Die Autofokusfunktion basiert auf einer Überwachung der Form des Lichtstrahlquerschnitts nachdem er einige anamorphe Elemente passiert hat. Das elementare Prinzip, das der Durchführung unterliegt, ist, dass eine zylindrische Linse zu einem Astigmatismus führt. In einem derartigen Fall geht ein fokussierter Strahl zuerst durch den besten Fokus in einer Richtung und dann durch den besten Fokus in der senkrechten Richtung. Zwischen diesen zwei Brennpunkten entlang des Strahlenpfades ist der Strahlenquerschnitt in einer Richtung länglich und verläuft dann entlang des Strahlpfads durch Punkte, in denen der Strahlquerschnitt rund ist und dann länglich in einer Richtung senkrecht zu der vorherigen Richtung. In diesem Beispiel wird der optimale Fokus des Lichts, das auf das Substrat trifft, durch Überwachen des Strahlquerschnitts von Licht, das von dem Substrat **14** reflektiert wird, erfasst. Die Form des Strahlquerschnitts wird von zwei Silizium-Quadratur-Photodioden **90** und **92** überwacht, wie sie z. B. von der Silicon Detector Corporation in Newbury Park, Kalifornien hergestellt werden.

**[0069]** Wie unten genauer beschrieben ist, besteht das gegenwärtige Autofokus system aus zwei optischen Pfaden, die sich bezüglich der Richtung des Astigmatismus voneinander unterscheiden. Bei einem Pfad hat die zylindrische Linse keine Krümmung, wenn sie in der X-Richtung betrachtet wird während die zylindrische Linse bei dem anderen Pfad keine Krümmung in der Y-Richtung hat.

**[0070]** Der Autofokusstrahl **93** wird von einem Strahlteiler **94** vom reflektierten Strahl **95** abgespalten, entlang des reflektierten Detektorpfades geführt und zu einem weiteren Strahlteiler **96** weitergeleitet, der den Strahl in zwei Pfade **98** und **100** teilt. In [Fig. 2](#) liegt die X-Koordinate senkrecht zu dem Papier und folglich ist die zylindrische Linse **102** mit einer Krümmung gezeigt, während ein identisches Element **104** in dem anderen Pfad als

planparalleles Element erscheint. Der Pfad, der zum Detektor **90** führt, enthält auch eine sphärische Linse **106**. Die zwei identischen Quadraturdetektoren **90** und **92** erfassen einen Querschnitt jedes Strahls. Ebenso wie die Substratoberflächenposition oder -dicke variiert, variiert der Strahlquerschnitt wie von den Detektoren festgestellt in der X-Richtung wie in den [Fig. 5](#) und [Fig. 6](#) bei **108, 110** und **108, 112** jeweils gezeigt. Es muss beachtet werden, dass sich der vertikale Durchmesser (Y-Richtung) des beleuchteten Bereichs auf keinem Detektor verändert. Wenn die Maske fokussiert wird, werden beide Detektoren von einem runden Strahl **108** beleuchtet. Wenn die Maske aus dem fokussierten Gebiet läuft, schrumpft der horizontale Durchmesser auf einem Detektor (siehe [Fig. 5](#)), während er sich auf dem anderen wie von den Konturen des Strahls **110** und **112** jeweils gezeigt vergrößert (siehe [Fig. 6](#)). Dies verändert den elektrischen Ausgang der Quadraturdetektoren. Das Fokuskorrektursignal  $F_c$  ist dann:

$$F_c = \frac{(A_1 - B_1) - (A_2 - B_2)}{(A_1 + B_1) + (A_2 + B_2)}, \quad (1)$$

wobei

- $A_1$  das aus den entlang der X-Achse von **90** befindlichen Quadranten abgeleitete Signal ist,
- $A_2$  das aus den entlang der X-Achse von **92** befindlichen Quadranten abgeleitete Signal ist,
- $B_1$  das aus den entlang der Y-Achse von **90** befindlichen Quadranten abgeleitete Signal ist,
- $B_2$  das aus den entlang der Y-Achse von **92** befindlichen Quadranten abgeleitete Signal ist.

#### ÜBERPRÜFUNGSMODUS MIT TRANSMITTIERTEM LICHT

**[0071]** Gewöhnlich wird die Transmissionsmoduserfassung zur Defekterfassung auf Substraten wie z. B. herkömmlichen optischen Masken mit transparenten und opaken Bereichen verwendet. Während der Laserstrahl die Maske abtastet, dringt das Licht an transparenten Punkten in die Maske ein und wird vom Detektor für transmittiertes Licht **34** erfasst, der sich hinter der Maske **14** befindet und das Licht misst, das vom Kondensor **84** und der Sammellinse **86** erfasst wird.

#### ÜBERPRÜFUNGSMODUS MIT REFLEKTIERTEM LICHT

**[0072]** Die Überprüfung mit reflektiertem Licht wird normalerweise auf opaken Substraten durchgeführt, die Bildinformationen in Form entwickelter Fotolackeigenschaften enthalten. Licht, das von dem Substrat reflektiert wird, geht entlang des gleichen optischen Pfades wie vorher beschrieben zurück und wird dann jedoch von einem polarisierenden Strahlteiler **60** in den Detektor **36** abgeleitet. Ein Kondensor **35** projiziert das Licht auf den Detektor **36**. Wie vorher ausgeführt wird während der Überprüfung mit reflektiertem Licht die Blende **63** geschlossen.

**[0073]** Überprüfung mit reflektiertem Licht kann auch verwendet werden, um Kontaminierungen auf opaken Substratoberflächen zu erfassen.

#### MODUS ZUM MESSEN DER PHASENVERSCHIEBUNGSMATERIALDICKE

**[0074]** Das Messen der Phasenverschiebung ist nur an Punkten interessant, an denen das Substrat transparent ist, d. h. wo es keine opake Geometrie gibt. Das Vorhandensein einer opaken Geometrie wird von dem Transmissionsdetektor **34** ermittelt und nur in den Leerräumen, die diese Geometrie trennen, wird eine Phasenverschiebungsmessung vorgenommen. Während dieses Ablaufs ist die Blende **63** offen und Licht von dem Laser, das von dem Teiler **60** reflektiert wird, geht durch die Umsetzlinsen **110** und **112**, die ein Teleskop **114** bilden und durch ein Objektiv **116** mit niedriger numerischer Apertur zu einem Umlenkspiegel **118**, wo es entlang des gleichen Pfades und durch die Strahlteiler **60** und **94** und den Kondensor **35** zum Detektor **36** für reflektiertes Licht rückreflektiert wird. Gleichzeitig wird auch der Detektor **36** von Licht beleuchtet, das zuerst durch den Teiler **60** geht, sodass es von einem Punkt auf dem Substrat reflektiert wird und das bei der Rückkehr von einem Teiler **60** zu dem Detektor reflektiert wird. Diese zwei Beleuchtungsstrahlen überlagern sich gegenseitig und die Intensität des Lichts, das von dem Detektor **36** erfasst wird variiert deshalb als eine Funktion der jeweiligen optischen Pfadlänge der zwei Pfade **62** und **64**. Wie später genauer beschrieben wird, werden diese Daten vom Elektroniksubsystem ausgewertet, um die Dicke Schwankungen des Phasenverschiebungsmaterials, das einen gegebenen Punkt auf dem Substrat bedeckt, zu ermitteln.

## GLEICHZEITIGE ERFASSUNG VON MEHR ALS EINEM DETEKTORTYP

**[0075]** Es ist wichtig zu beachten, dass sich Überprüfungen mit transmittiertem und reflektiertem Licht und der Phasenverschiebungsmessungsablauf gleichzeitig nicht gegenseitig ausschließen. Gleichzeitig transmittierte und reflektierte Erfassung kann die Existenz eines opaken Defekts offen legen, der von dem transmittierten Detektor erkannt wird, während der Ausgang des reflektierten Detektors verwendet werden kann, um die Art des Defekts offen zu legen. Als Beispiel ist entweder ein Chrompunkt oder ein Partikel opak und wird daher zu einem dunklen Ausgang von dem Transmissionsdetektor führen, jedoch erzeugen reflektierende Chromdefekte auch eine hoch reflektierte Lichtanzeige, während ein Partikel üblicherweise weniger reflektiert. Unter Anwendung von sowohl reflektierter als auch transmittierter Erfassung kann man ein Partikel auf der Chromgeometrie finden. Im Allgemeinen kann man für bestimmte Defektarten Vorzeichen ermitteln, wie z. B. das Verhältnis ihrer reflektierten und transmittierten Lichtintensitäten. Diese Information kann dann verwendet werden, um Defekte automatisch einzuordnen.

**[0076]** In gleicher Weise können die transmittierte Lichterfassung und die Phasenverschiebungsmessung gleichzeitig erfolgen. Auf einer Phasenverschiebungsmaske kann ein opaker Defekt in einem mit Phasenverschiebungsmaterial bedecktem Bereich erfasst werden; und die Abwesenheit von opakem Material, welches von dem Detektor **34** für transmittiertes Licht erfasst wird, kann verwendet werden, um die Phasenverschiebungsmessung zu gaten.

## STEUERUNGSCOMPUTER

**[0077]** Der Steuerungscomputer **24** fungiert als Bedienpult und Hauptregler des Systems und ist eine Vorrichtung wie z. B. ein SPARC-Computer von Sun Microsystems in Mountain View, Kalifornien. Alle Systemschnittstellen mit dem Benutzer und den Bedieneinrichtungen werden durch den Steuerungscomputer erstellt. An allen anderen Subsystemen werden Befehle erteilt und deren Zustände überwacht, um die Bewältigung der dem Betreiber zugeteilten Aufgaben zu erleichtern.

## ELEKTRONIKSUBSYSTEM

**[0078]** Die Funktion des Elektroniksubsystems **20** ist es, die vom Steuerungscomputer **24** ausgegebenen Befehle auszuwerten und auszuführen. Diese Funktionen sind: Digitalisieren des Eingangs der Detektoren **34** und **36**, Ausgleich dieser Messwerte bei Schwankungen der einfallenden Lichtintensität, Erfassen von Defekten im Bild und Weiterleitung der Defektdaten zum Steuerungscomputer **24**, Sammlung des Ausgangs der Interferometer, die verwendet werden, um die Verschiebeeinheit **12** zu überwachen, Bereitstellen eines Antriebs für die Linearmotoren der Verschiebeeinheit und Überwachung der Sensoren, die den Status anzeigen.

**[0079]** Mit Ausnahme der Phasenverschiebungsmessung und der Linienbreiteninformation sind alle der aufgezählten Funktionen des Steuerungscomputers **24** und des Subsystems **20** in den oben genannten US-Patenten mit den Seriennummern 4,247,203, 4,579,455, 4,633,504, 4,805,123, 4,926,489 und 4,644,172 beschrieben. Es muss beachtet werden, dass in den oben genannten Patenten die gleichen Funktionen auf viele verschiedene Weisen durchgeführt werden und die jeweils angenommene Vorgehensweise von Verfügbarkeit und Eignung integrierter Schaltkreisvorrichtungen zum Zeitpunkt der Entwicklung des Systems abhing. Jede der genannten Vorgehensweisen könnte verwendet werden.

## DIE VERSCHIEBEEINHEIT

**[0080]** Die Verschiebeeinheit **18** ist ein Luftlager X-Y-Verschiebeeinheit, die auf jeder Achse von einem Linearmotor angetrieben wird. Die Position der Verschiebeeinheit entlang jeder Achse wird von Interferometern (nicht gezeigt), wie z. B. des Modells TIPS V von Teletrac Corporation, überwacht.

**[0081]** Die Verschiebeeinheit **18** ist in [Fig. 7](#) detailliert gezeigt, wobei die vordere Schiene weggeschnitten ist, um die Ansicht der Hauptelemente zu ermöglichen. Die Verschiebeeinheit hat zwei Freiheitsgrade und ist nicht drehbar. Sie ist hier für die Anwendung im beschriebenen Überprüfungssystem beschrieben, kann jedoch auch in jeder Mikrolithographie- und Präzisionsbearbeitungsanwendung verwendet werden.

**[0082]** Der Y-Schlitten **120** in Form eines Rahmens **122** trägt die X-Verschiebeeinheit **124**. Die Bewegung bei der Verschiebeeinheiten wird von Linearmotoren und Luftlagern gesteuert. Die Anziehungskraft zwischen dem Stator und dem Schieber jedes Linearmotors stellt die Vorspannung der Linearlager bereit.

**[0083]** Der Rahmen des Y-Schlittens weist zwei Führungsschienen **126** und **127** auf, die die Bewegung der X-Verschiebeeinheit **124** in der Zelle steuern. Die Führungsschienen sind durch zwei Längsträger **128** miteinander verbunden. (Die Frontschiene, das Gegenstück von **128**, ist nicht gezeigt.) Der Stator **129** des X-Linearmotors ist in die X-Führungsschiene **126** so eingelassen, dass er den an Luftlagergehäusen **131** befestigten X-Schieber **130** anzieht und vier der fünf X-Luftlager **132**, **133**, **134** und **135** vorspannt. Ein separater Magnet **136** und ein ferromagnetischer Vorspannungsstreifen **137** stellen die Vorspannung für das Luftlager **138** bereit. Jedes Lager ist mit einem Drehlager versehen, was außer des Drehens des Lagers selbst das Drehen des Lagersegments um zwei Achsen ermöglicht, weshalb der einzige Freiheitsgrad, der von einem Luftlager beschränkt ist, die Translation in der zu der Segmentoberfläche normalen Richtung ist.

**[0084]** Die X-Verschiebeeinheit hält die Probe **14** und wird von den fünf Luftlagern kinematisch beschränkt: Die Lager **132** und **135** steuern die Steigung der X-Verschiebeeinheitbewegung und beschränken die vertikale Translation in die Z-Richtung, die Lager **133** und **134** steuern das Gieren der X-Bewegung und beschränken die horizontale Translation in der Y-Richtung. Das Lager **138**, das in das Gehäuse **139** eingebettet ist, steuert die Rollbewegung der X-Verschiebeeinheit und beschränkt die vertikale Translation der Verschiebeeinheit in der Z-Richtung. Die Probenhaltevorrichtung **140** ist an einem leichtgewichtigen Verbundrahmen **141** der X-Verschiebeeinheit befestigt.

**[0085]** Die Verschiebeeinheit enthält eine Vielzahl neuartiger Merkmale. Eines dieser Merkmale ist die Verwendung des Linearmotors, um die Verschiebeeinheit in zwei Richtungen vorzuspannen und dadurch eine außergewöhnliche Steifigkeit zu erreichen. Dies wird durch die Anordnung eines Gleiteisens **130** mit dreieckigem Querschnitt und die rechtwinklige Position des Stators **131** erreicht, sodass die magnetische Anziehungskraft in einem Winkel zu allen vier Luftlagern **132**, **133**, **134** und **135** ist.

**[0086]** Ein weiteres neues Gestaltungsmerkmal ist, dass der Stator **129** des Linearmotors in die Führungsschiene **126** in einem Winkel zu den zwei Wänden der Führungsschiene eingelassen ist.

**[0087]** Ebenfalls neuartig ist die Verwendung eines Materials mit honigwabenartiger Struktur wie z. B. Blue Seal von Hexcell in Dublin, Kalifornien für die Herstellung des Rahmens **140**. Dies reduziert die Masse der Verschiebeeinheit und macht sie dennoch sehr unnachgiebig. Ein Querschnitt dieser Konstruktion entlang der Linie 8-8 ist in [Fig. 8](#) gezeigt, wo der netzförmige Einlass **142** zwischen die Verkleidungen **143** eingeschoben ist. Die Grundplatte **144** und die obere Platte **145** grenzen an die Verkleidungen **143** und vervollständigen die Kastenstruktur, die den Einlass **142** umfasst. Das honigwabenartige Material kann durch eine beliebige Zahl von Leichtverbundmaterialien wie z. B. Duocell von ERG in Oakland, Kalifornien ersetzt werden.

**[0088]** Ebenfalls neuartig ist das Verfahren zum Anbringen der festen Teile **146** an dem Verbundwerkstoff, so dass sie eine Verkleidung der Verbundwerkstoffwand durchdringen und an der gegenüberliegenden Verkleidung und entweder an der oberen Platte oder der Grundplatte wie in [Fig. 9](#) gezeigt mit Verbindungsstücken befestigt sind, die um die Durchdringungsstelle in der Wand und zwischen dem festen Teil und der Innenseite der gegenüberliegenden Verkleidung und der Platte **144** gebildet sind.

## BETRIEB DER OFFENBARTEN AUSFÜHRUNGSFORM

### AUSRICHTUNG

**[0089]** Bevor der automatische Überprüfungsablauf gestartet wird, richtet der Betreiber die Maske in der richtigen Orientierung an und legt den „Betreuungsbereich“ in dem Computer fest, d. h. den zu überwachenden Bereich. [Fig. 3](#) zeigt die gewünschte Ausrichtung des Überwachungspfades **31** in Bezug auf die Rohchips **33**, **35** und **37**, die hier auf einer Mehrfach-Rohchip-Maske oder einem Retikel **14** gezeigt sind. Während der Überprüfung wird die Verschiebeeinheit **12** auf serpentinenartige Weise in Anlehnung an den Pfad **31** bewegt, während der Laserstrahl parallel zur Y-Achse der Maske abgelenkt wird. Da sich die Verschiebeeinheit **12** in der X-Richtung bewegt, tastet diese Y-Achsenbewegung des Laserstrahls eine Schwade **39** ab. Gewöhnlich sind die Achsen der Maske **14** nicht parallel zur Antriebsachse der Verschiebeeinheit. Deshalb erfordert eine Bewegung der Verschiebeeinheit in der X- oder Y-Richtung einen gleichzeitigen Betrieb beider Antriebe. Die erste Aufgabe des Betreibers ist es deshalb, das Verhältnis der Geschwindigkeiten der Hauptachsen der Verschiebeeinheit für das System festzulegen. Um dies durchzuführen wählt der Betreiber zwei Punkte, von denen er weiß, dass sie auf der gleichen X-Koordinate des Rohchips liegen. Dann lenkt er die Verschiebeeinheit auf diese Punkte, während er das Bild auf der Bildanzeige **22** beobachtet. Das System vermerkt den Ort dieser Punkte durch Messen der Bewegung mit Interferometern (nicht gezeigt) entlang der Antriebsachsen der Verschiebeeinheit. Diese Messungen erstellen die Richtungskosinusse der Antriebsachsen der Verschiebeeinheit in

Bezug auf die X- und Y-Achsen der Maske. Zu diesem Zeitpunkt wird das Dove-Prisma **66** ([Fig. 2](#)) gedreht, um die Ablenkung des Laserstrahls so zu orientieren, dass sie senkrecht zur Bewegung der Verschiebeeinheit in der X-Richtung ist. Als nächstes bestimmt der Betreiber den Betreuungsbereich **41** ([Fig. 3](#)) des Rohchips, d. h. den zu überprüfenden Bereich für das System.

#### PHASENVERSCHIEBUNGSMESSUNGSKALIBRIERUNG

**[0090]** Aus Gründen, die später im Phasenmessungsmodus ersichtlich werden variiert, wenn der Laserpunkt (in der Y-Richtung) eine flache transparente Oberfläche scannt, die parallel zur Ebene der Maske ist, die Intensität sinusförmig wie in [Fig. 11](#) durch die Kurve **200** gezeigt. Mathematisch ist die Intensität I:

$$I = A \sin[(2\pi y/w) - D] + I_0, \quad (2)$$

wobei y der Abstand des besagten Pixels vom Ausgangspunkt ist, w eine Konstante ist, die eine Funktion des Kippwinkels vom Spiegel **118** ist, D die Phasenverschiebung aufgrund der Pfadlängenänderung als Ergebnis der Dicke des Phasenverschiebungsmaterials ist, A die halbe Amplitude der Intensität ist und  $I_0$  der Intensitätsausgleich **204** aufgrund von Streulicht in der Optik ist. Diese Werte werden alle während des Phasenverschiebungsmessungskalibrierungsteils der Initialisierung bestimmt. Da der Laser einen flachen, gleichförmigen und transparenten Bereich der Maske scannt, werden die Intensitäten an jedem Bildelement (Pixel) im Computer digitalisiert und gespeichert. Dann ist  $I_0$  der Mittelwert der Intensitäten über ganzzählige Zyklen und A kann aus

$$A = (I_{\max} - I_0)/2 \quad (3)$$

berechnet werden. Der Wert W ist die Periodizität der Sinuskurve. Es ist offensichtlich, dass  $I_0$  und A bei klaren und phasenverschiebungsmaterialbedeckten Bereichen unterschiedlich sind und deshalb für beide Bereiche bestimmt werden müssen. Die Größe D ist eine lineare Funktion der Dicke des Phasenverschiebungsmaterials und dieses Verhältnis wird durch Kalibrierung auf einem bekannten Muster bestimmt, welches Phasenverschiebungsmaterialeigenschaften verschiedener Dicken enthält und konstant bleibt, wenn das System dimensionale Stabilität beibehält.

#### DAS ÜBERPRÜFUNGSVERFAHREN

**[0091]** Die automatische Überprüfung eines Retikels beginnt gewöhnlich in der oberen linken Ecke des Betreuungsbereichs und folgt dem serpentinartigen Muster **31** (siehe [Fig. 3](#)). Da sich die Verschiebeeinheit langsam in der X-Richtung bewegt, wird der Laserstrahl in der Y-Richtung schnell abgelenkt. Auf diese Weise wird eine Schwade **39** gescannt und der digitalisierte Ausgang der Detektoren wird in dem Elektronik-Subsystem **20** gespeichert. Wenn die Schwade den linken Rand des Betreuungsbereichs des zweiten Rohchips **35** erreicht, werden Bilddaten, die aus dem Rohchip **33** stammen und nun in dem Subsystem **20** gespeichert sind, mit den vom Rohchip **35** stammenden Daten verglichen. Jede wesentliche Abweichung wird als Defekt gekennzeichnet. Auf ähnliche Weise werden auch die Daten des Rohchips **37** mit den aus dem Rohchip **35** stammenden Daten verglichen.

**[0092]** Wenn das Scanverfahren den rechten Rand des Betreuungsbereichs des Rohchips **37** erreicht, wird die Verschiebeeinheit in der Y-Richtung eine leicht kleinere Menge als die Schwadenbreite bewegt und die Verschiebeeinheit beginnt einen Rücklauf in der X-Richtung. Auf diese Weise werden die Betreuungsbereiche der Rohchips von der serpentinartigen Bewegung durchquert.

**[0093]** Die Rohchip-zu-Datenbank-Überprüfung, gewöhnlich auf einzelnen Rohchip-Retikeln durchgeführt, ist der Rohchip-zu-Rohchip-Überprüfung ähnlich, außer dass der Vergleich zwischen dem Rohchip und einem simulierten Bild, das von dem Datenbankadapter **18** erzeugt wird, stattfindet. [Fig. 4](#) zeigt den Rohchip-zu-Datenbank-Scanpfad **31'**.

#### ÜBERPRÜFUNGSBETRIEB

**[0094]** Nach Abschluss der automatischen Überprüfungsabläufe überprüft der Betreiber die Defekte, indem er den Steuerungscomputer **24** veranlasst, die Verschiebeeinheit **12** in den Bereich eines bestimmten Defekts zu bewegen und dort zu halten. Das Bild wird dann von akusto-optischen Scannern **40** und **42** in der Y-Richtung und vom oszillierenden Spiegel **65** in der X-Richtung gescannt und das digitalisierte Bild wird auf dem Anzeigeelement **22** angezeigt. Der Betreiber kann den Ausgang von jedem der Detektoren oder die Verbindung von Ausgängen von mehr als einem Detektor nutzen. Wenn der Betreiber dies wünscht, können die un-

terschiedlichen Detektorausgänge überlagert und als separate Farben auf dem Anzeigeelement dargestellt werden.

#### PHASENVERSCHIEBUNGSMATERIALDICKENMESSUNG

**[0095]** [Fig. 10](#) ist eine Darstellung des Querschnitts eines Phasenverschiebungsmaskentyps. Obwohl sich das vorliegende Beispiel auf eine bestimmte Art von Maske bezieht, ist auf allen Maskentypen die Steuerung der Dicke des Phasenverschiebungsmaterials eine Voraussetzung und somit ist das hier beschriebene Verfahren bei allen Phasenverschiebungsmaskentypen anwendbar.

**[0096]** Das Substrat **160** besteht üblicherweise aus Quarz auf dem opake Merkmale **164** abgeschieden sind. Dies sind üblicherweise dünne Chromschichten. Die Phasenverschiebungsmerkmale **161** und **162**, die aus transparentem Material bestehen, werden üblicherweise einen Teil des Chroms **164** und einige der freien Bereiche **181** und **183** zwischen den Merkmalen **164** teilweise überziehen. Die mit Phasenverschiebungsmaterial gefüllten transparenten Bereiche **181** und **183** und die freien Bereiche **180** und **184** wechseln sich üblicherweise ab. Die Höhe der oberen Oberfläche **173** des Phasenverschiebungsmerkmals **162** über dem Niveau der vorderen oder oberen Oberfläche **174** des Quarzsubstrats ist üblicherweise so, dass sie eine Phasenverschiebung von 180 Grad in Bezug auf einen Punkt **180**, der sich in der gleichen Ebene befindet, aber nicht mit Phasenverschiebungsmaterial bedeckt ist, erzeugt.

**[0097]** Bei Phasenverschiebungsmasken können auf verschiedene Arten Defekte auftreten. Es kann Defekte in den transparenten Bereichen geben; wie z. B. entweder überschüssiges Chrom oder Verschmutzungen oder bei einem Merkmal **164** kann Chrom fehlen. Derartige Defekte werden vom Detektor **34** für transmittiertes Licht ([Fig. 2](#)) erfasst und betreffen den vorher genannten Stand der Technik. Das erste Beispiel kann auch Defekte in der Phasenverschiebungsschicht **161** oder **162** erfassen. Es gibt zwei Defekttypen: diejenigen, bei denen es eine plötzliche Abweichung der Phasenverschiebungsschichtdicke gibt und diejenigen, bei denen es eine Abweichung von der gewünschten Dicke gibt, die entweder konstant ist oder über der Oberfläche langsam variiert. Der erstgenannte Defekttyp, wie z. B. das kleine Stück **168** in der Schicht **161** wird von dem transmittierten Lichtdetektor **34** erfasst, da er das Licht streut und daher verhindert, dass Licht durch das Phasenverschiebungsmaterial tritt. Deshalb taucht es in der Transmission als dunkler Fleck auf. Sich langsam verändernde Oberflächen **172** oder eine unkorrekte Dicke der Phasenverschiebungsschicht wie in dem Merkmal **161** dar gestellt werden wie unten beschrieben durch interferometrische Verfahren erfasst.

**[0098]** Eine perfekt ebene Oberfläche wie **173** oben auf **162**, die parallel zur Maskenebene ist und mit einer optischen Pfadlänge L wird Ränder hervorrufen, während die Maske gescannt wird, da aufgrund des Umlenkspiegels **118** die Wellenfront des Referenzstrahls nicht parallel zur Substratebene ist. (Um jegliche Unklarheiten bezüglich der Phasenänderung zu vermeiden, sollte die Neigung des Spiegels **118** größer als die erwartete maximale Neigung jeder Oberfläche wie z. B. **161** sein.) Der Detektorausgang ist in solch einem Fall eine Sinuskurve wie z. B. die, die in [Fig. 11](#) gezeigt ist. Eine ähnliche flache Oberfläche, die an einer Pfadlänge L + d angeordnet ist (siehe [Fig. 10](#)) wird eine Sinuskurve mit der gleichen Frequenz erzeugen, jedoch mit einer Phasenverschiebung D in Bezug auf Kurve **200**. Diese zweite Sinuskurve ist als Wellenform **202** gezeigt. Während die Maske in der Y-Richtung gescannt wird, ermittelt der transmittierte Lichtdetektor **34**, ob ein bestimmtes Pixel vollkommen transparent ist. Nur bei derartigen vollkommen transparenten Pixeln werden Messungen der reflektierten Lichtintensität vorgenommen und digitalisiert. Bei derartigen Pixeln wird die reflektierte Lichtintensität bestimmt und digitalisiert. Dies wird von der Darstellung im unteren Bereich von [Fig. 10](#) vorgeschlagen, in der angezeigt ist, dass während der Zeit, in der der Scan wie vom Ausgang des Detektors **34** bestimmt über die nicht-transparente Eigenschaft **164** geht, der Ausgang des Detektors **36** nicht berücksichtigt wird. Das Elektroniksubsystem **20** bestimmt D in der Gleichung 2 aus dem Intensitätswert und aus der Y-Koordinate des Pixels zusammen mit den Werten von A, w und  $I_0$ , die während der Kalibrierung bestimmt wurden, und die entsprechende Pfadlängenabweichung bei dem Pixel, d. h. die Höhe d der Oberfläche des Merkmals über der Ebene **174**.

**[0099]** Es ist offensichtlich, dass es aufgrund der periodischen Beschaffenheit einer Sinuskurve eine Unbestimmtheit gibt, da Pfadlängenabweichungen, die einer Phasenverschiebung von 360 Grad entsprechen, nicht zu unterscheiden sind. Unerwartete Abweichungen, die eine Phasenverschiebung von 360° zur Folge haben, können jedoch nur eintreten, wenn das Phasenverschiebungsmaterial eine Kante enthält. Eine solche Kante erzeugt eine Diffraktion, die dann im Transmissionsmodus erfasst wird. Demzufolge ist die Unbestimmtheit aufgrund einer Phasenverschiebung von 360° auflösbar und es ist stets möglich, bei jedem Pixel die Dicke des Phasenverschiebungsmaterials zu ermitteln.

**[0100]** In der Praxis sind die Maskensubstrate weder genau parallel zur Bildebene noch ist das Substrat vollkommen eben. Diese Abweichungen sind jedoch stufenweise und auf einer 5X-Phasenverschiebungsmaske muss man nur Abweichungen in einem Radius von 4–5 Mikrometern berücksichtigen. Insbesondere ist nur die relative Phasenverschiebung zwischen zwei aneinandergrenzenden Merkmalen, wie z. B. die relative Phasenverschiebung zwischen den Orten **180**, **162** und **184** wichtig. Diese Punkte sind oft weniger als 4 Mikrometer voneinander entfernt.

**[0101]** Um festzustellen, ob es einen Phasenfehler von ausreichender Größe gibt, um einen Defekt auf dem Substrat anzuzeigen, wird die Pfadlänge bei jedem transparenten Pixel errechnet, das mit Phasenverschiebungsmaterial **162** bedeckt ist ([Fig. 10](#)). Dieser Wert wird dann mit dem Mittelwert der Pfadlängen von zwei aneinander grenzenden Punkten ohne Phasenverschiebungsmaterial, wie z. B. die Punkte **180** und **184**, verglichen. Wenn der Pfadlängenunterschied um mehr als einen vorbestimmten Schwellenwert bei der Druckwellenlänge – z. B. 10 Grad – von einem annehmbaren Wert abweicht, wird die Dicke des Phasenverschiebungsmaterials an diesem Punkt als fehlerhaft gekennzeichnet.

**[0102]** Neben dem Durchführen von Pfadlängenvergleichen zwischen Punkten auf geometrischen Eigenschaften in der gleichen Umgebung überprüft das System auch auf fehlende oder zusätzliche geometrische Eigenschaften, die z. B. bei der Mustererzeugung auftreten können. Im Rohchip-zu-Rohchip-Modus werden die Pfadlängen der Pixel bei **173**, **180** und **184** ([Fig. 10](#)) des Rohchips **33** ([Fig. 3](#)) mit den Pfadlängen bei den entsprechenden Pixeln des Rohchips **35** verglichen. Dieser Vergleich wird alle fehlenden geometrischen Eigenschaften offen legen, es sei denn beide Rohchips **33** und **35** haben den gleichen Fehler. Ähnlich kann im Rohchip-zu-Datenbank-Modus ein Vergleich zwischen den Pfadlängen gemacht werden, die mit den vorher bestimmten Pixeln und der Beschreibung dieser Pixel in der CAD-Datenbank in Verbindung stehen.

#### ALTERNATIVES PHASENVERSCHIEBUNGSMESSVERFAHREN

**[0103]** Das obige Messverfahren verwendet einen digitalen Ansatz, um die relative optische Pfadlänge an Gitterpunkten zu bestimmen, um den Phasenverschiebungswinkel an jedem Punkt zu bestimmen. Wie unten erklärt kann man auch ein analoges Verfahren einsetzen, um den Phasenverschiebungswinkel zu ermitteln.

**[0104]** [Fig. 12](#) zeigt den zusätzlichen Schaltkreis, den dieses Verfahren zum Einsetzen in die Vorrichtung aus [Fig. 1](#) bei **208** erfordert, um den Phasenverschiebungswinkel zu ermitteln. Das analoge Signal, das von dem Detektor **36** abgeleitet wird, wird in einen Eingang **209** eines analogen Phasendetektors **210** gespeist, der bei **211** auch ein anderes Signal von einem numerisch gesteuerten Oszillator **212** empfängt. Ein Signal, das proportional zu dem Phasenunterschied zwischen diesen zwei Signalen ist, wird von einem 8 Bit-A/D-Wandler **214** in eine digitale Form gewandelt und zu einem Codierer **216** und zu einem digitalen Tiefpassfilter **218** geleitet. Das digitale Filter **218** und der Codierer **216** werden von einem Ansteuerungssignal gegated, das vom Detektor **34** abgeleitet ist. Das digitale Filter **218**, das als Integrator fungiert, akzeptiert nur eine Eingabe, wenn der Detektor **34** anzeigt, dass die Maske am überprüften Punkt transparent ist. Der Codierer **216** akzeptiert das 8 Bit-Ausgangssignal des A/D-Wandlers **214** und verschiebt es ein wenig nach rechts. Wenn das Pixel an diesem Punkt transparent ist, fügt der Codierer eine 0 in die wichtigste Position des digitalen Signals ein und überträgt das verbleibende Signal als Phasensignal in das Subsystem **20**. Für den Fall, dass der Detektor **34** anzeigt, dass das Pixel opak ist, wird das digitale Signal wie alle anderen codiert, 11111111. Dies bedeutet für das Subsystem **20**, dass das Phasensignal ungültig ist und nicht berücksichtigt werden soll.

**[0105]** Der vorher beschriebene Schaltkreis ist ein Phasenregelkreis, der langsam Veränderungen der Phase folgt, die z. B. von langsam variierenden Naturerscheinungen verursacht werden können, wie z. B. der unvollkommenen Planität der Maske. Der Ausgang des Codierers **216** zeigt, wenn gültig die Pfadlängenabweichung in dem lokalen Bereich an.

#### ALTERNATIVE ANWENDUNG DES OPTISCHEN PHASENVERSCHIEBUNGSSYSTEMS

**[0106]** In einigen Fällen ist es wünschenswert, die tatsächliche Phasenverschiebung zu messen, anstatt die Phasenverschiebung von der relativen Pfadlänge abzuleiten. Dies kann durch die Verwendung von transmittierter Interferometrie erfolgen. Die [Fig. 13a](#) und [Fig. 13b](#) sind vereinfachte schematische Diagramme, in denen viele der in [Fig. 2](#) gezeigten Elemente weggelassen wurden, die jedoch eine Abwandlung der bevorzugten Ausführungsform zeigen, die entweder Messungen in einem Transmissionsmodus oder einem reflektierten Modus oder beiden ermöglichen, jeweils unter Verwendung von transmittierter Lichtinterferometrie und gleichzeitiger Messung des reflektierten und transmittierten Interferenzmusters.

[0107] Wie in [Fig. 13a](#) beschrieben ist, wird zur Durchführung dieses alternativen Betriebs im Transmissionsmodus ein Pellicle-Strahleiter **230** hinzugefügt, der vom Teiler **60** empfangenes Licht reflektiert und einen Referenzstrahl beim Detektor **34** über den Pfad **231** zu dem Umlenkspiegel **232**, und zum Objektiv **234** und einen weiteren Strahleiter **236** erzeugt. Die Interferenz des Referenzstrahls und des Bildgebungsstrahls, die entlang des Pfads **240** und durch das Substrat **14** verlaufen, wird beim Detektor **34** ermittelt.

[0108] Im reflektierten Lichtmodus wird Referenzlicht, das vom Teiler **60** geteilt wird, entlang des Pfads **250** zum Umlenkspiegel **118** geleitet und zum Detektor **36** zurückgeleitet, wo es Bildgebungslicht überlagert, das durch den Teiler **60** und entlang des Pfads **260** zum Substrat **20** verläuft, wo es entlang des Pfads **260** zurückreflektiert wird und vom Teiler **60** in den Detektor **36** reflektiert wird.

[0109] Es muss beachtet werden, dass diese Alternative auch die gleichzeitige Phasenmessung sowohl im reflektierten als auch im transmittierten Modus ermöglicht.

[0110] Da Laser sowohl im reflektierten als auch im transmittierten Interferenzmodus eine begrenzte Kohärenzlänge haben, sollten die Pfadlängen beim Bildgebungsstrahlpfad und beim Referenzstrahlpfad ungefähr gleich sein.

#### LINIENBREITENMESSUNG

[0111] [Fig. 14](#) zeigt eine Draufsicht eines kleinen Teils **270** einer Maske. Der Bereich **272** ist transparent und wird von einem Merkmal **274** durchquert, das entweder opak (Chrom oder anderes Material) oder transparent sein kann, wenn das Quarzsubstrat der Maske mit Phasenverschiebungsmaterial bedeckt ist. Das System misst wie bei **276** gezeigt die Intensität an gleich weit entfernten Gitterpunkten. Wie unten näher beschrieben wird werden diese Intensitätsmessungen dann verwendet, um die Linienbreite zu ermitteln, d. h. die Breite **278** des Merkmals **274**. Es muss beachtet werden, dass an jedem der Gitterpunkte **276** die Intensität die Faltung der Punktantwort (Point spread function) des optischen Systems mit dem Profil des Durchlassvermögens des Merkmals ist. Üblicherweise ist das Profil des Durchlassvermögens eine Stufenfunktion. Deshalb ist die an einem bestimmten Gitterpunkt gemessene Intensität eines geraden Merkmals, wie es in [Fig. 14](#) gezeigt ist, eine Funktion des senkrechten Abstands vom Gitterpunkt zum Rand des Merkmals (Linie **274**). Die Intensität an einem bestimmten Punkt in der nahen Umgebung eines Merkmals kann deshalb als senkrechter Abstand vom Punkt zu der Linie gedeutet werden. Diese Deutung wird durch eine einfache Tabellensuchfunktion im Computer **24** ([Fig. 1](#)) vorgenommen. Anhand der Intensitäten an den Gitterpunkten **280** und **282** sind die Abstände  $S_1$  und  $S_2$  bekannt und die Steigung der Kante relativ zu einem Merkmal ist:

$$\tan G = \frac{S_2 - S_1}{(a^2 - (S_2 - S_1)^2)^{1/2}}, \quad (4)$$

wobei  $a$  der Abstand zwischen den Gitterpunkten **280** und **282** ist und  $G$  der Winkel **284** ist.

[0112] Sobald die Steigung der Kante eines Merkmals (Linie) bestimmt ist, kann die gegenüberliegende Kante der Linie ähnlich angeordnet sein und es kann eine Überprüfung durchgeführt werden, dass sie parallel zur vorher berechneten Linienkante ist. Anhand der Intensitäten entlang der zwei Kanten der Linie wird die Linienbreite im Steuerungscomputer **24** berechnet.

[0113] Das vorher beschriebene Verfahren der Linienmessung ist genau genommen normalerweise nur bei konventionellen Masken anwendbar, die keine mit Phasenverschiebungsmaterial bedeckten Oberflächenbereiche haben. Das oben beschriebene Verfahren kann jedoch auch zum Messen von Phasenverschiebungsmerkmalen verwendet werden, da an der Grenzlinie zwischen einem freien Bereich und einem mit Phasenverschiebungsmaterial bedeckten Bereich eine Diffraktion des einfallenden Lichtstrahls eintreten wird und entlang dieser schmalen Grenzlinie wird kein Licht übertragen werden. Die Linienbreite ist der Abstand zwischen der Mitte einer Grenzlinie und der Mitte einer gegenüberliegenden Grenzlinie.

[0114] Obwohl das erste Beispiel oben beschrieben ist, wird angenommen, dass verschiedene Abwandlungen und Formveränderungen davon dem Fachmann bekannt sein werden. Um z. B. die Notwendigkeit zu umgehen, den Laserstrahl während des Scanvorgangs zu kippen anstatt den linearen Detektor **34** in der bevorzugten Ausführungsform zu verwenden, könnte man einen Zeitverzögerungssensor des im oben genannten Levy Patent mit der Seriennummer 4,579,455 beschriebenen Typs verwenden. Bei einer derartigen Veränderung müsste die Kohärenz in der Y-Richtung unter Verwendung eines rotierenden Mattglases abgebaut werden, wenn ein Laser als Lichtquelle verwendet wird. Die Kohärenz in der X-Richtung wird vom Zeitverzöge-

rungssensor abgebaut.

## ERSTER ASPEKT DER VORLIEGENDEN ERFINDUNG

**[0115]** Der erste Aspekt der vorliegenden Erfindung, stellt wie man in der folgenden Diskussion sehen kann ein Überprüfungssystem und -verfahren bereit, das eine bedeutende Abweichung vom herkömmlichen Rohchip-zu-Rohchip-Vergleichsverfahren der Substratüberprüfung darstellt. Bei dem wohl bekannten und weit verbreiteten Rohchip-zu-Rohchip-(oder Rohchip-zu-Datenbank-)Vergleichsverfahren werden die Merkmale des zu überprüfenden Substrats mit einem anderen ähnlichen Substrat oder einer Datenbank verglichen, die bekannterweise richtig ist. Dies erfordert bei dem Rohchip-zu-Rohchip-Verfahren die zeitgleiche Verarbeitung der gleichen Information mit zwei optischen Spalten sowohl für den zu überprüfenden Rohchip als auch für die Probe, mit der dieser verglichen wird, welche sowohl hardware- als auch computerberechnungsintensiv ist.

**[0116]** Wie aus der folgenden Diskussion ersichtlich ist, verrichtet der erste Aspekt der vorliegenden Erfindung alle Überprüfungstätigkeiten unter Verwendung von nur einer einzigen optischen Spalte und nur des zu überprüfenden Substrats. Dies wird durch Analysieren der Beziehung zwischen zwei oder mehr der transmittierten und reflektierten Lichtsignale von diesem Substrat und abgeleiteten Funktionen dieser Signale, der Beziehung zwischen diesen Lichtsignalen und der Beziehung zwischen jedem der transmittierten und reflektierten Lichtsignale und der zweiten Ableitung dieser Lichtsignale durchgeführt.

## SYSTEMÜBERSICHT

**[0117]** Bevor die Theorie und der Betrieb des ersten Aspekts der vorliegenden Erfindung und alle Möglichkeiten, die diese darstellt, erklärt werden, ist die grundlegende Struktur des Systems des ersten Aspekts der vorliegenden Erfindung – wie in der vereinfachten Ansicht von [Fig. 15](#) und die vollständigere Ansicht von [Fig. 16](#) gezeigt – jeweils den vereinfachten und detaillierten [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) beim ersten Beispiel sehr ähnlich. Der Unterschied zwischen [Fig. 1](#) und [Fig. 15](#) ist, dass der Datenbankadapter **18** für den ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung nicht benötigt wird. Gleichermaßen ist der Unterschied zwischen den [Fig. 2](#) und [Fig. 16](#), dass die Phasenverschiebungs-/Linienbreitenmessungskomponenten, die sich zur linken Seite des Strahlteilers **60** erstrecken, nicht nötig sind, um die Funktion des ersten Aspekts der vorliegenden Erfindung zu erfüllen. Die Phasenverschiebungs-/Linienbreitenmessungen können jedoch unter Verwendung der gleichen Übertragungsdaten wie die, die vom Verfahren des zweiten Aspekts der vorliegenden Erfindung bei der Überprüfung verwendet werden, durchgeführt werden. In den [Fig. 15](#) und [Fig. 16](#) kann man sehen, dass das automatische optische Überprüfungssystem **10** drei spezialisierte Subsysteme enthält: ein Laser-/optisches Subsystem **11**, eine x-y-Verschiebeeinheit und ein Servoantriebssubsystem **12** und ein Elektroniksteuer- und Anzeigesubsystem **19**. [Fig. 15](#) zeigt auch ein Substrat **14** auf der X-Y-Verschiebeeinheit **12**, das auf Defekte überprüft werden muss.

**[0118]** Es ist wichtig zu beachten, dass Überprüfungen mit transmittiertem und reflektiertem Licht entweder gleichzeitig oder sich gegenseitig zeitlich ausschließend ausgeführt werden können, wobei die Anforderungen an das eingeschaltete Beleuchtungslight und die Substratposition so sind wie oben diskutiert.

**[0119]** Kurz gesagt beruht die zugrunde liegende Theorie des Betriebs, die unten genauer beschrieben wird, auf der Fähigkeit, Signale, die mindestens zwei der erfassten transmittierten und reflektierten Lichtstrahlen entsprechen und Funktionen jeder dieser Signale, die das Vorhandensein eines Defekts offen legen können, zu unterscheiden. Die zwei gemessenen Werte des Systems sind die Intensität des Lichtstrahls, der durch das Substrat transmittiert wird, wie er vom Transmissionsdetektor **34** erfasst wird und die Intensität des reflektierten Lichtstrahls, wie er vom Detektor **36** für reflektiertes Licht erfasst wird. Diese zwei gemessenen Werte können dann weiterverarbeitet werden, um den Defektyp offenzulegen, wenn einer an einem entsprechenden Punkt auf dem Substrat vorhanden ist. Als Beispiel ist entweder ein Chrompunkt oder ein Partikel auf einem Substrat opak und wird somit einen „dunklen Ausgang“ (niedrigen Signalausgang) vom Transmissionsdetektor **34** zur Folge haben, wobei der reflektierende Chrompunktdefekt auf dem Substrat eine hohe reflektierte Lichtanzeige erzeugt, während der Partikel normalerweise weniger reflektiert. Daher wurde die Verwendung von sowohl reflektierter als auch transmittierter Erfassung untersucht, z. B. kann man einen Partikel des auf der Chrom-Geometrie orten, was nicht erfolgen kann, wenn nur die reflektierende oder transmittierende Eigenschaft des Defekts untersucht wird. Im Allgemeinen kann man für bestimmte Defektypen Signaturen bestimmen, wie z. B. das Verhältnis ihrer reflektierten und transmittierten Lichtintensitäten. Diese Information kann dann verwendet werden, um Defekte automatisch einzuordnen.

## X-Y-VERSCHIEBEEINHEIT UND SERVOANTRIEBE 12

**[0120]** Die X-Y-Verschiebeeinheit **12** ist ein Präzisionssubstratantrieb unter der Steuerung des elektronischen Subsystems **20** und kann das in Prüfung befindliche Substrat **14** auf serpentinartige Weise in einer einzigen Ebene relativ zu den optischen Achsen des optischen Subsystems **11** bewegen, sodass die gesamte oder ein ausgewählter Bereich der Substratoberfläche beleuchtet und somit überprüft werden kann.

**[0121]** In einem typischen Überprüfungssystem des ersten Aspekts der vorliegenden Erfindung ist die Verschiebeeinheit **12** eine Luflager-X-Y-Verschiebeeinheit, die von einem Linearmotor oder einem Servoantrieb auf jeder Achse, wobei die Position der Verschiebeeinheit **12** entlang jeder Achse von Interferometern (nicht gezeigt) überwacht wird, wie z. B. einem Modell TIPS V von Teletrac Corporation.

## ELEKTRONIK- UND STEUERSUBSYSTEM 19

**[0122]** Das Elektronik- und Steuersubsystem **19** enthält wie in [Fig. 1](#) gezeigt mehrere Elemente. Darin enthalten sind das Elektroniksubsystem **20**, der Steuerungscomputer **24**, die Tastatur **26** und das Anzeigeelement **22**. Die Tastatur **26** stellt im Zusammenhang mit dem Steuerungscomputer **24** und das Anzeigeelement **22** in Zusammenhang mit dem Elektroniksubsystem **20** die Benutzeroberfläche zum Überprüfungssystem des ersten Aspekts der vorliegenden Erfindung bereit. Des Weiteren steht das Elektroniksubsystem **20** in Verbindung mit der X-Y-Verschiebeeinheit **12**, den Transmissions- und Reflexionslichtdetektoren **34** und **36** und dem Steuerungscomputer **24**.

**[0123]** Der Steuerungscomputer **24** fungiert als Bedienelement und Hauptregler des Systems und ist eine Vorrichtung wie z. B. ein SPARC-Computer von Sun Microsystems in Mountain View, Kalifornien, wobei alle Systemschnittstellen mit dem Betreiber und den Benutzereinrichtungen durch den Steuerungscomputer **24** erzeugt werden. Allen anderen Subsystemen und Komponenten werden Befehle erteilt und sie überwachen den Status, um die Durchführung der dem Betreiber zugewiesenen Aufgaben zu erleichtern.

**[0124]** Die Funktion des Elektroniksubsystems **20** ist es, die vom Steuerungscomputer **24** erteilten Befehle zu deuten und auszuführen. Diese Funktionen sind: Digitalisierung der Eingabe der Detektoren **34** und **36** für transmittiertes und reflektiertes Licht, Ausgleich dieser Messwerte bei Schwankungen der Lichtintensität des einfallenden Lichts, Summierung des Ausgangs der Interferometer, die verwendet werden, um die Verschiebeeinheit **12** zu verfolgen, Bereitstellen des Antriebs für die Servos der Verschiebeeinheit **12** und Überwachung der Sensoren, die den Status angeben.

## THEORIE DES BETRIEBS

**[0125]** Der Transmissionsdetektor **34**, momentan und kontinuierlich, erzeugt ein transmittiertes Lichtsignal **15** proportional zu dem durch das Substrat **14** transmittierte und von dem Transmissionsdetektor **34** empfangenen Licht. Das transmittierte Lichtsignal **15** wird dann verstärkt und in dem elektronischen Subsystem **20** mit einem Offset versehen, um die Spitzen-zu-Spitzen-Signalamplitude auf Werte von 0 bis 1 zu normalisieren. Ähnlich erzeugt der Detektor **36** für reflektiertes Licht momentan und kontinuierlich ein reflektiertes Lichtsignal **17** proportional zu dem von dem Substrat **14** reflektierten und von dem Detektor **36** für reflektiertes Licht empfangenen Licht. Das reflektierte Lichtsignal **17** wird ebenfalls in dem elektronischen Subsystem **20** normalisiert.

**[0126]** Für Zwecke der Diskussion und um den ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung weiterzudiskutieren, wird angenommen, dass das Substrat **14** eine opake Schicht aufweist, die einen Teil des darunterliegenden Materials des Substrats **14** abdeckt. Diese opake Schicht reflektiert einen größeren Teil des einfallenden Laserlichts **13** als gleichzeitig von der Oberfläche des nackten darunterliegenden Materials des Substrats reflektiert wird. Zum Beispiel ist es aus dem Stand der Technik bekannt, dass bei einer Wellenlänge von 488 nm antireflektierendes Chrom (opake Schicht) eine Reflektivität von 11% aufweist und das darunterliegende Quarz-Material eines Substrats einer Reflektivität von 4,5% aufweist.

**[0127]** [Fig. 17](#) stellt ein hypothetisches Modell für die normalisierten transmittierten und reflektierten Lichtsignale **350** bzw. **352** für eine Abtastung über ein Substrat dar, wobei die Abszisse aus [Fig. 17](#) die Zeit oder der Abstand über das Substrat **14** ist wenn der Lichtstrahl **13** relativ zu der Oberfläche des Substrats **14** voranschreitet. Wenn der Lichtstrahl **13** einen nackten Abschnitt des Substrats **14** mit einem darunterliegenden Quarzmateriale abtastet liegt das normalisierte transmittierte Lichtsignal **350** bei Niveau 1 und das normalisierte reflektierte Lichtsignal **352** bei Niveau 0 wie in dem Bereich **340** aus [Fig. 17](#) gezeigt. Darüber hinaus ist, wenn der Lichtstrahl **13** einen Bereich des Substrats **14** mit einer opaken Schicht abtastet, das normalisierte trans-

mittierte Lichtsignal **350** bei Niveau 0 und das reflektierte Lichtsignal **352** ist bei Niveau 1 wie in dem Bereich **342** in [Fig. 17](#) gezeigt. In dem Fall, in dem der Lichtstrahl **13** an einer Kante einer opaken Schicht oder einem Merkmal auf dem Substrat **14** ist, geht das normalisierte transmittierte Lichtsignal **350** von Niveau 1 zu Niveau 0 über, während das normalisierte reflektierte Lichtsignal von Niveau 0 zu Niveau 1 wie in dem Bereich **341** aus [Fig. 17](#) gezeigt übergeht.

**[0128]** Dieses hypothetische Modell nimmt an, dass die transmittierten und reflektierten Signale an dem gleichen Punkt auf dem Substrat **14** bei Abwesenheit von Defekten immer komplementär zueinander sind, sodass ihre Summe **354** in Abwesenheit von Defekten auch invariant ist. Dieses Verhalten wird in [Fig. 17](#) durch das Summensignal **354** dargestellt, welches um 0,5 von jedem der Signale **350** und **352** beabstandet ist. Daher würde ein solches Verhalten es ermöglichen irgendeine beobachtete Abweichung in dem Summensignal als eine Defekterfassung zu interpretieren. Der nächste Absatz diskutiert einige Nachteile dieses hypothetischen Modells und schlägt ein Verfahren für die Erfassung von Defekten vor, bei dem dieser Ansatz verbessert wurde. Die folgende Diskussion liefert einen Ansatz, der von den Nachteilen des gerade diskutierten Modells unbetroffen ist.

**[0129]** Gemäß [Fig. 18](#) sind die typischen beobachteten Signale für ein realisierbares optisches Subsystem auf eine Weise ähnlich der aus [Fig. 17](#) dargestellt. Enthalten sind das transmittierte Lichtsignal **370**, das reflektierte Lichtsignal **372** und das Summensignal **374**, das um 0,5 in dem äußeren linken Bereich verschoben ist, der dem Bereich **340** aus [Fig. 17](#) entspricht. In diesem Bereich aus [Fig. 18](#) sind die Signalwerte typisch für eine Überprüfung über dem klaren Substrat ohne dass eine opake Überschicht oder Defekte vorhanden sind. In dem Mittenbereich aus [Fig. 18](#) röhren ein Signal **373** in dem normalisierten reflektierten Lichtsignal **372** und ein resultierendes Signal **376** in dem Summensignal **374** beide von einer partikelförmigen Verunreinigung oben auf einer opaken Schicht auf dem Substrat **14** her. In dem am weitesten rechten Bereich der [Fig. 18](#) sind das Signal **371** in dem normalisierten transmittierten Lichtsignal **370**, das entsprechende Signal **375** in dem normalisierten reflektierten Lichtsignal **372** und das resultierende Signal **377** in dem Summensignal **374** alle durch eine partikelförmige Verunreinigung auf einem transparenten Substrat **14** verursacht.

**[0130]** Es ist auch zu beachten, dass in der typischen Situation das Summensignal **374** von dem konstanten 0,5-Niveau in den Übergangsbereichen (ähnlich den Bereichen **341** in [Fig. 17](#)) der Auftragung abweicht. Diese Übergangsbereiche entsprechen denjenigen Teilen des Substrats **14**, die nahe der Kanten von Merkmalen darauf liegen (z. B. Grenzen zwischen opaken Schichten auf dem Substrat und nackten darunter liegenden Substratbereichen). Solch eine Abweichung erscheint in [Fig. 18](#) als Signal **378**. Abweichungen, wie z. B. das Signal **378** treten aufgrund von Variationen in dem Lichtstreuverhalten an Kanten von Merkmalen auf dem Substrat **14** auf und Fehlanpassungen zwischen den Teilkohärenzparametern der transmittierten und reflektierten optischen Pfade (siehe [Fig. 15](#) und [Fig. 16](#)). Typischerweise können diese Abweichungen in dem Summensignal an Merkmalenkanten ungefähr die gleiche Größe wie ein Signal **377** aufweisen, welches durch Submikrometerverunreinigungen auf dem Substrat **14** verursacht wird. Daher liefert die Summation der reflektierten und transmittierten Lichtsignale **17** bzw. **15** kein passendes Verfahren zum Unterscheiden einer Submikrometer-partikelförmigen Verunreinigung von Kantenmerkmalen auf dem Substrat **14**.

**[0131]** Eine Erweiterung des Verfahrens, um es einem realisierbaren optischen Subsystem zu ermöglichen automatisch zwischen Oberflächemerkmalen und Defekten eines Substrats **14** zu unterscheiden, wird nachfolgend in Bezug auf [Fig. 19](#)–[Fig. 22](#) diskutiert.

**[0132]** [Fig. 19](#) stellt die Relation zwischen einer Familie von Paaren normalisierter transmittierter und reflektierter Signalwerte dar, wobei jedes Paar von Werten an einem bestimmten Punkt auf der Oberfläche des Substrats **14** auftritt wenn der Lichtstrahl **13** über das Substrat **14** abgelenkt wird, was die Korrelation zwischen jedem der beiden Signalpaare zeigt, wenn keine Defekte an irgendeinem Punkt auf dem Substrat **14** vorhanden sind. In [Fig. 19](#) ist das normalisierte transmittierte Lichtsignal auf der Abszisse **400** aufgetragen und das normalisierte reflektierte Lichtsignal von dem gleichen Punkt auf dem Substrat **14** ist auf der Ordinate **401** für jedes Paar von Signalen von jedem untersuchten Punkt auf dem Substrat **14** dargestellt.

**[0133]** Wie oben in Bezug auf [Fig. 15](#) diskutiert normalisiert das elektronische Subsystem **20** die Transmissions- und Reflektionssignale **15** und **17** und fügt einen Offset ein, sodass sie zwischen 0 und 1 liegen. Daher stellt zum Beispiel der Bereich **450** aus [Fig. 19](#) Signalpaare aus einem Substratbereich dar, in dem es ein viel größeres reflektiertes Signal als ein transmittiertes Signal gibt, welches eine opake Schicht auf dem Substrat an diesem Punkt repräsentieren könnte. Dies führt daher, dass eine opake Schicht den Lichtstrahl abschwächt, was zu einem kleinen Lichttransmissionswert führt und zu der gleichen Zeit reflektiert eine opake Schicht ungefähr 11% des einfallenden Laserstrahls auf den Sensor **36** für reflektiertes Licht. Ähnlich kann der Bereich

**452** aus [Fig. 19](#) so betrachtet werden, dass er den Zustand repräsentiert, in dem der Laserstrahl **13** einen nackten Bereich eines Quarz-Substrats abtastet. Werte in dem Bereich **452** röhren von einem Punkt auf dem Substrat **14** her, der einen großen Teil des Lichtstrahls **13** transmittiert, was zu einem hohen erfassten transmittierten Lichtwert führt, während an dem gleichen Punkt auf dem Substrat nur ungefähr 4,5% des einfallenden Laserstrahls **13** reflektiert wird, was zu einem kleinen erfassten Reflektivitätswert führt. Daher stellt der mittlere Bereich **455** in [Fig. 19](#) Punkte auf der Oberfläche des Substrats **14** dar, an denen der Lichtstrahl **13** die Kanten von Merkmalen abtastet.

**[0134]** Eine typische Transmissions-Reflektions-Relation im T-R-Raum (die Koordinatenebene, welche durch die orthogonalen T- und R-Achsen definiert wird) für ein realisierbares optisches System ist durch die Kurve **420**, die in einem gleichförmigen Toleranzbereich eingeschlossen ist, der durch die Einhüllende **421** gebildet wird, gezeigt. (Es ist offensichtlich, dass die Form der Kurve **420** in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren variiert: der Betriebseigenschaften des optischen Subsystems **11**, sowie den Materialien der darunterliegenden Schicht und der Oberflächenschichten der Merkmale des Substrats **14**. Jede Kombination aus optischem Subsystem und Substratdesign hat daher seine eigene Eigenschaftskurve **420** in dem T-R-Raum.) Daher kann jeder untersuchbare Punkt oder Pixel auf dem Substrat **14** in dem T-R-Raum durch einen Punkt repräsentiert werden mit Koordinaten, welche den transmittierten und reflektierten Signalwerten entsprechen, die an diesem Pixel erzeugt werden. Diese Pixel mit transmittierten und reflektierten Signalwerten, die in die Toleranzeinhüllende **421** fallen, werden als defektfrei betrachtet, während alle anderen entweder Defekte oder Systemrauschen darstellen. Die Toleranz mit der die Untersuchung ausgeführt wird und daher welche transmittierten und reflektierten Pixelpaare als Defekt betrachtet werden, wird durch die Breite der Einhüllenden **421** und den Abstand ihrer Grenze von der Kurve **420** bestimmt. Die Breite der Einhüllende **421** und daher die Untersuchungstoleranz kann parametrisch durch die Position längs der Kurve **420** variiert werden, sodass der Benutzer eine engere Toleranz gegenüber schädlichen Defekttypen etablieren kann und eine entspanntere Toleranz gegenüber anderen Defekttypen. Zum Beispiel kann die Defektidentifikationsempfindlichkeit über nackten Bereichen des Substrats unabhängig von der Identifikationsempfindlichkeit von Defekten über den opaken Flächen des Substrats sein. Man könnte sogar einen komplexen Satz von Toleranzen haben, der den gesamten T-R-Raum abdeckt (d. h. die Breite der Einhüllende **421** muss nicht gleichförmig längs der T-R-Kurve **420** sein).

**[0135]** Daher ist ein Merkmal des ersten Aspekts der vorliegenden Erfindung eine T-R-Raumkoordinatenebene wie in [Fig. 19](#). Daher wird, wenn der T-R-Punkt für irgendeinen Punkt auf dem Substrat **14** aus ausgewählten Toleranzeinhüllenden, die durch die Grenze **421** definiert wird, herausfällt, ein Defekt identifiziert, unabhängig davon, ob die tatsächlichen Koordinaten des Punkts des Defekts bekannt sind oder nicht. Es ist zu berücksichtigen, dass in diesem Abschnitt noch keine Diskussion der Beschreibung der Ausrichtung des Substrats und des Verhaltens von irgendwelchen Defektkoordinaten im Speicher erfolgt ist. Da das vorliegende Untersuchungssystem kein Vergleichssystem wie im Stand der Technik ist, ist es nicht notwendig den physikalischen Ort eines Defekts auf dem Substrat zu kennen, um festzustellen, dass dort ein Defekt vorliegt. Alles was man tun muss ist, die Toleranz auszuwählen, die für jeden Typ von Oberflächeneigenschaft akzeptabel ist und wenn eine T-R-Messung aus der Einhüllenden **421** herausfällt, ist das Substrat defekt. Es ist auch zu berücksichtigen, dass es für das Verfahren des ersten Aspekts der vorliegenden Erfindung nicht wichtig ist, dass die Punkte in dem T-R-Raum zusammenhängend sind, damit das Verfahren Defekte findet. Zum Beispiel kann der erste Punkt in den Bereich **451** fallen, die nächsten 55 Punkte in den Bereich **425** und dann wieder 6 Punkte in den Bereich **450**, ein Punkt in den Bereich **455** und dann 2 Punkte in den Bereich **452**, etc. Die Sequenz ist unwichtig für die Fähigkeit des ersten Aspekts der vorliegenden Erfindung das Vorhandensein eines Defekts zu identifizieren.

**[0136]** Auch trägt, wie während der Entwicklung des ersten Aspekts der vorliegenden Erfindung entdeckt wurde, der Ort des T-R-Punkts in der T-R-Ebene Information über die physikalischen Eigenschaften des Pixelelements auf der Oberfläche des Substrats und in dem Fall eines Defekts des aufgefundenen Defekttyps. Daher ist ein weiteres Merkmal des ersten Aspekts der vorliegenden Erfindung die Verwendung des T-R-Erfassungsraums für eine automatische Defektklassifizierung.

**[0137]** Diese Entdeckung unterstellt, umfasst das Defekterfassungsverfahren des ersten Aspekts der vorliegenden Erfindung mindestens die Fähigkeit Defekttypen zu identifizieren, wobei der T-R-Raum verwendet wird. Um dies zu tun, muss der nicht defekte Bereich in dem T-R-Raum, der durch die Grenze **421** gebildet wird, so bestimmt werden, dass irgendein T-R-Paar für ein untersuchtes Pixel auf dem Substrat **14** sofort als ein defekter oder ein nicht defekter Punkt bestimmt wird, dadurch, dass es entweder in oder aus dem nicht defekten Bereich innerhalb der Grenze **421** fällt. Darüber hinaus könnte der Ort des T-R-Punkts falls erwünscht analysiert werden, um den Defekttyp, der erfasst wurde, zu identifizieren.

**[0138]** Verfahren zum Begrenzen des nicht defekten Bereichs und der verschiedenen Defektklassifikationszonen, die zusammen als die T-R-Referenzkarte bezeichnet werden, werden weiter unten diskutiert. Zusätzlich wird, da das Defekterfassungsverfahren nur von den beiden gemessenen Signalen T und R an einem einzigen Punkt des Substrats abhängt und nicht von dem Vergleich von Test- und Referenzbildern (Rohchip zu Rohchip oder Rohchip zu Datenbank) wie in US-Patent Nummer 4,926,489 offenbart, abhängt, keine Ausrichtung des Substrats mit dem Defekterfassungssystem des ersten Aspekts der vorliegenden Erfindung benötigt.

**[0139]** Es wurde beobachtet, dass die Verwendung eines Gesamtausrichtungsschritts des Substrats an einem Referenzgitter es dem System darüber hinaus ermöglichen würde, den Ort des Defekts auf dem Substrat **14** auch zu bestimmen, wenn der Benutzer dies wünschen sollte. Jedoch ist wie oben dargelegt für einen Be-standen/Durchgefallen-Defektbestimmungstest der physikalische Ort des Defekts auf dem Substrat unnötig.

**[0140]** [Fig. 20](#) ist eine Auftragung einer T-R-Referenzkarte, die verschiedene Defektbereiche darstellt, die bei dem derzeit interessierenden Typ von Substrat auftreten können. Zum Beispiel: Eine Partikelverunreinigung auf antireflektierendem Chrom würde geringe T-Werte und mittlere R-Werte aufweisen, wie durch den Bereich **470** dargestellt, eine partikelförmige Verunreinigung auf einem ansonsten nackten Quarzbereich würde geringe R-Werte und mittlere bis hohe T-Werte aufweisen, wie durch den Bereich **474** dargestellt, eine partikelförmige Verunreinigung auf der Kante eines Merkmals könnte einen breiten Bereich von T- und R-Werten aufweisen, ausgehend von beide niedrig bis zu einem hohen während der andere niedriger bleibt, wie durch den Bereich **472** dargestellt, eine fehlenden antireflektierende Chromschicht würde einen großen R-Wert und einen niedrigen T-Wert aufweisen wie durch den Bereich **478** dargestellt, sehr große Defekte würden sehr niedrige Werte von T und R aufweisen, wie durch den Bereich **480** dargestellt und das Vorhandensein dünner verbleibender Chromtransmissionsdefekte würde T- und R-Werte aufweisen, die rechts von und über der charakteristischen Kurve **420** liegen, wie durch den Bereich **481** dargestellt.

**[0141]** Für einige Defekttypen kann eine Analyse des T-R-Punkts ein nicht ausreichend empfindliches Anzeichen des Vorhandenseins eines Defekts sein (das heißt die Änderung entweder des T- oder des R-Werts kann nicht ausreichend deutlich für ein Problem sein, wenn der entsprechende andere Wert für ein bestimmtes Pixel auf dem Substrat **14** gegeben ist). Ein Beispiel eines solchen Defekttyps ist ein Einschluss in einem Quarzsubstrat, der vollständig unter der Oberfläche einer Maske verborgen ist. In diesem Defekttyp tritt die Änderung des Transmissionswerts, T, mit einer geringen oder keinen entsprechenden Änderung des Reflektivitätswerts, R, auf. Wie aus [Fig. 20](#) ersichtlich ist, hat die nominale Referenzkurve **420** eine geringe Steigung für große T-Werte. Daher kann eine Änderung in dem Transmissionswert allein in diesem Bereich nicht zu einem T-R-Punkt außerhalb der Einhüllenden **421** führen und daher ist es schwierig nur im T-R-Raum alleine zu erfassen.

**[0142]** Jedoch können, wenn die zweite Ableitung des normalisierten Transmissionswerts, T'', die das Vorhandensein von Kanten in dem Bild identifiziert, gegen das normalisierte Transmissionssignal, T, wie in [Fig. 21](#) aufgetragen wird, diese Defekttypen identifiziert werden. Das nominale Verhalten für Pixel von defektfreien Punkten auf dem Substrat entsprechen der Kurve **503**, die von der Toleranzehüllenden **506** wie in [Fig. 24](#) gezeigt eingeschlossen wird. Die Koordinatenebene, wie zum Beispiel in [Fig. 21](#) wird als der T-T''-Erfassungsraum bezeichnet und ist ein weiteres Merkmal des ersten Aspekts der vorliegenden Erfindung.

**[0143]** So wie der T-R-Raum wird die T-T''-Referenzkarte durch Identifizieren des defektfreien Bereichs erhalten, hier innerhalb der Einhüllenden **506**, und anderer spezifischer interessierender Bereiche im T-T''-Raum. In diesem Fall zeigt eine Änderung in der Transmission, welche zu einem T-T''-Punkt innerhalb des Bereichs **520** außerhalb des nicht defekten Bereichs in der Einhüllenden **506** führt, vorläufig einen Transmissionsdefekt, obwohl solch ein Punkt auftreten könnte, wenn der Pixel nahe der Kante eines Merkmals auftritt und keinesfalls ein Defekt ist. Daher könnte man sich nicht auf den T-T''-Raum allein verlassen, um die notwendige Unterscheidung in solch einer Situation zu treffen. Ein Test für diese Bedingung wird in dem nächsten Absatz beschrieben.

**[0144]** Während der Entwicklung des ersten Aspekts der vorliegenden Erfindung wurde auch entdeckt, dass es nützlich ist, das reflektierte Signal, R, aufgetragen gegen die zweite Ableitung des reflektierten Signals, R'', zu untersuchen. [Fig. 22](#) stellt ähnlich den R-R''-Raum dar, der auch ein Merkmal des ersten Aspekts der vorliegenden Erfindung ist. Die Kurve **603** stellt die nominale Beziehung zwischen R und R'' dar und der Bereich **607** stellt den Toleranzbereich für nicht defekte Pixel dar, wobei der R-R''-Erfassungsraum auch in verschiedene interessierende Bereiche unterteilt ist. Einer dieser interessierenden Bereiche umfasst den vorläufig defektfreien Bereich innerhalb der Kurve **607**, sodass eine R-R''-Referenzkarte gebildet wird. Andere interessierende Bereiche umfassen den Bereich **605**, wobei die Punkte darin möglicherweise daher röhren, dass der Laser eine opake Schicht abtastet, wobei R-Wert hoch, der T-Wert niedrig ist und der Wert von R'' ebenfalls niedrig

ist. Ein weiterer interessierender Bereich liegt innerhalb des Bereichs **609**, in dem Punkte darin vorläufig daher röhren, dass der Laserabtaststrahl einen Punkt auf einem nackten Substrat beleuchtet. Der dritte interessierende Bereich ist der Bereich der Punkte **630**, der typisch für ein beleuchtetes Pixel ist, das nicht auf der Kante eines Merkmals angeordnet ist, wenn es einen entsprechenden Wert dieses Pixels im Bereich **520** des T-T"-Raums gibt ([Fig. 21](#)). Wenn diese beiden Bedingungen erfüllt sind, entspricht das interessierende Pixel einem Transmissionsdefekt auf der Probe. Zuletzt werden, wenn es einen Rückstand auf einer opaken Schicht gibt, die zugehörigen Pixel im R-R"-Raum in dem Bereich **620** liegen, wobei die entsprechenden Werte von R und R" das Vorhandensein eines Reflektivitätsdefekts anzeigen. Daher ist es, um alle möglichen Defekttypen heutiger Substratmaterialien an einem Punkt auf einem Substrat positiv zu identifizieren und zu klassifizieren, notwendig, zu bestimmen welche Defektbereiche durch die Koordinaten des Punkts in jedem der T-R-, T-T" und R-R"-Räume besetzt wird. Mit dieser Information kann das elektronische Subsystem **20** die Koordinateninformation in Bereichsinformation reduzieren und einen unabhängigen Defektbereichsbericht für jeden Raum mit einem Code, um den Bereich zu bezeichnen, erzeugen (z. B. **452, 455, 470, 472, 474, 478, 480, 481, 505, 507, 509, 520, 605, 607, 620, 630** etc.), der wie durch die Koordinate in diesem Raum belegt ist. Darüber hinaus kann das elektronische Subsystem **20** wenn ein solcher Bereichsbericht von jedem Erfassungsraum verfügbar ist, dann die Bereichsberichte von jedem der Erfassungsräume verbinden, um einen endgültigen Defektbericht zu synthetisieren, der zusammenfassend die für diesen Punkt auf dem Substrat gesammelten Ergebnisse kodiert und berichtet, ob ein Defekt durch diese Ergebnisse angezeigt wird. Dieser abschließende Defektbericht würde daher einen Pixeltypcode bezeichnen und einen binären Defektindikatorwert, der anzeigt, ob ein Defekt vorliegt oder nicht. Wenn Information verfügbar ist, kann das System auch so programmiert werden, dass andere Typen von Berichten erzeugt werden, einschließlich eines, der die Anzahl von Punkten mit jedem Defekttyp über das gesamte Substrat summiert.

**[0145]** Viele Defekttypen können einfach gefunden werden durch das Auftreten des Defektanzeichens, das in die Koordinaten eines Defekterfassungsbereichs in nur einem der beiden Funktionsräume fällt (d. h. T-R-, T-T"- oder R-R"-Raum). Jedoch können wie oben erklärt z. B. bestimmte Transmissionsdefekte nur durch Auftreten eines Defektanzeichens in dem T-T"-Raum im Bereich **520** ([Fig. 21](#)), das einem Defektanzeichen im R-R"-Raum im Bereich **630** entspricht ([Fig. 22](#)), erfasst werden. In diesen Fällen wird der abschließende Transmissionsdefektbericht nur erzeugt, wenn dieses Defektauftreten durch beide Bereichsberichte in den beiden verschiedenen Räumen angezeigt wird. Dieser Berichtstyp wird durch eine logische UND-Operation erzeugt, welche bestimmt, ob der T-T"-Raum eine Koordinate im Bereich **520** berichtet UND der R-R"-Raum ebenfalls eine Koordinate im Bereich **630** berichtet. Eine positive Bestätigung beider Ereignisse erzeugt dann einen abschließenden Bericht, der das Vorhandensein dieser Typen von Transmissionsdefekt anzeigt.

**[0146]** Daher wird die abschließende Defekterfassungs- und Klassifikationsprozedur ausgeführt durch Zusammenführen der verschiedenen Bereichsberichte. Einige Defekttypen können in verschiedenem Berichten bedingt sein, wie z. B. der oben diskutierte Transmissionsdefekt, während andere Defekttypen unbedingt von einzelnen individuellen Berichten angezeigt werden. Aus einer Hyperraumperspektive betrachtet, wurde gesagt, dass einige Defekte im zweidimensionalen Raum bestimmt werden können (z. B. individuell im T-R- oder T-T"- oder R-R"-Raum), während andere nur im dreidimensionalen Raum erfasst werden können (z. B. T-R-T") und wieder andere können einen vierdimensionalen Raum oder einen fünfdimensionalen Raum, etc. erfordern.

**[0147]** Das elektronische Subsystem **20** ist daher so programmiert, dass es die notwendigen Kombinationen logischer Operationen in der erforderlichen Reihenfolge ausführt, um einen abschließenden Defektbericht zu erzeugen, der die interessierenden Defekte aus den gesammelten Bereichsdefektberichten identifiziert. Der abschließende Defektbericht wird erzeugt, zunächst durch Kombinieren aller der bedingten Berichte durch UND-Operationen in der richtigen Reihenfolge und dann Anwenden einer ODER-Operation dieser Ergebnisse mit den anderen Berichten, wobei der abschließende Defektbericht daher einen Defekt anzeigt, wenn irgendeiner der individuellen Bereichsberichte einen Defekt entweder durch bedingte oder unbedingte Erfassung (d. h. aus zwei, drei, vier, fünf Räumen in dem Hyperraummodell) anzeigt und einen Defekttypcode bereitstellt, der anzeigt, welche Bereiche aus den Defektbereichsberichten zum Bestimmen des Vorhandenseins des Defekts verantwortlich waren.

**[0148]** In der Praxis werden, die derzeit interessierenden Materialien vorausgesetzt, die verschiedenen Defekttypen durch Verschmelzen der analytischen Ergebnisse, die aus den drei individuellen Erfassungsräumen erhalten werden, erfasst, die die vier Pixelobservablen T, R, T" und R" umfassen, welche oben als paarweise in drei individuellen zweidimensionalen Koordinatenebenen aufgetragen diskutiert wurden, um die anfängliche Betrachtung des Verfahrens gemäß dem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung zu vereinfachen. In der Realität tritt das Defekterfassungsverfahren des ersten Aspekts der vorliegenden Erfindung in einem vierdimensionalen Beobachtungshyperraum mit Koordinatenachsen T, R, T" und R" auf, wobei die vier Observablen von

jedem Pixel einen Vierkomponentenvektor bilden. Zusätzlich kann dieser Hyperraum in verschiedene hyperdimensionale Klassifizierungsbereiche unterteilt sein, wie in [Fig. 20](#) bis [Fig. 22](#) dargestellt und sogar in T-R"-, R-T"- und T"-R"-Räume, wenn für einige Material-/Defektkombinationen diese Räume ebenfalls von Interesse bei der Auflösung davon wären, ob ein bestimmter Defekttyp vorhanden ist, der nicht aus einem oder mehreren der zuvor diskutierten Räume bestimmt werden kann. Da das nominale defektfreie Verhalten eines untersuchten Substrats ein hohes Maß an Korrelation in diesem vierdimensionalen Hyperraum enthält, zieht der erste Aspekt der vorliegenden Erfindung Vorteil aus dieser Redundanz durch Analysieren der Observablen in Paaren, Projizieren der observablen Vier-Vektoren auf ausgewählte zweidimensionale Koordinatenunterebenen, wobei im Wesentlichen der vierdimensionale Beobachtungsraum zur einfacheren Visualisierung in drei individuelle zweidimensionale Unterräume zerlegt wird, Berechnung und Identifikation von Defekttypen.

**[0149]** Daher ist es einfach zu visualisieren, dass alternative Ausführungsformen des ersten Aspekts der vorliegenden Erfindung effektiv andere mögliche Kombinationen der vier Observablen zur Detektionsanalyse verwenden können, z. B. T gegen R". Darüber hinaus müssen solche alternativen Unterräume nicht auf zweidimensionale Projektionen der Observablen beschränkt sein und können sich im Prinzip auf eine Verwendung der gesamten vierdimensionalen Darstellung zur Erfassungsanalyse wie oben schlussfolgernd diskutiert, erstrecken.

**[0150]** Darüber hinaus können andere Observablen erzeugt werden durch Anwenden alternativer Filteroperationen auf die gemessenen T- und R-Signale wie durch das Blockdiagramm der [Fig. 24](#) dargestellt. Zum Beispiel können die gemessenen T- und R-Signale und zusätzliche Signale höherer Ordnung, die aus den gemessenen Signalen berechnet werden, verwendet werden, um Bildkarten zu erzeugen. Daher können zusätzlich zu den oben diskutierten zweiten Ableitungsfunktionen größere Faltungsoperatoren mit einzigartigen Koeffizienten-Werten ebenfalls verwendet werden, um andere Signale zur Analyse zu erzeugen, sodass andere Eigenschaften eines interessierenden Substrats deutlicher offenbart werden. Im Allgemeinen können sie, eine willkürliche Anzahl von Observablen vorausgesetzt (z. B. Ableitungen verschiedener Ordnungen, Signalbereichsbeschränkungen, von denen ausgewählte Ableitungen gebildet werden können, Integrationen oder andere Typen von Funktionen, die aus den gemessenen T- und R-Signalwerten erzeugt werden können), innerhalb einer willkürlichen Anzahl von Unterräumen des Beobachtungsraums mit einer willkürlichen Dimensionalität, die geringer ist als oder gleich der Anzahl an Observablen (zwei- bis n-dimensionaler Raum) analysiert werden. Wie bereits oben diskutiert erfordert eine zusammenfassende Defekterfassung, welche niedrigerdimensionale Unterräume des Beobachtungsraums verwendet im Allgemeinen, dass die gesamte Information aus allen Berichtsunterräumen gesammelt und zur abschließenden Bewertung zusammengefasst wird.

**[0151]** [Fig. 24](#) stellt insbesondere einen allgemeinen Fall zum Ausführen von M-Operationen auf das tatsächliche T-Signal **700** und N-Operationen auf das tatsächliche reflektierte Signal **702** von der Transmissions- und Reflexions-Pixelbildkarte der untersuchten Oberfläche dar. Jede dieser verschiedenen Operationen in der ersten Schicht von Blöcken ist durch eine Serie von Filtern identifiziert, die als  $f_x(T)$  oder  $g_y(R)$  bezeichnet sind. Für das oben beschriebene Verfahren sind die Filter  $f_1(T)$  **704** und  $g_1(R)$  **706** alle Durchlassfilter und die Filter  $f_1(T)$  **708** und  $g_2(R)$  **710** sind jeweils Filter zweiter Ableitung, um die Signale T" bzw. R" aus den Eingangs-T- und R-Signalen zu bilden. Die anderen Filter, die in der ersten Reihe von Operationen enthalten sein können, sind hier als  $f_M(T)$  **712** und  $g_N(R)$  **714** dargestellt, welche eine weitere Funktion auf die Eingangs-T- und R-Signale anwenden können, um weitere Signale zu bilden, die nützlich wären, um ein weiteres interessierendes Merkmal auf dem Substrat **14** zu identifizieren.

**[0152]** Die zweite Reihe von Operationen in [Fig. 24](#) ist die Kombination der verschiedenen Signale aus den Filtern der ersten Reihe im zweidimensionalen Raum jeder möglichen Kombination oder mindestens der interessierenden Signale aus den Filtern der ersten Reihe. Zum Beispiel wird, wenn  $f_1(T)$  **704** und  $g_1(R)$  **706** alle Durchlassfilter sind und die Filter  $f_2(T)$  **708** und  $g_2(R)$  **710** alle Filter zweiter Ableitung sind, dann im Block **716** die T-R-Rauminformation gesammelt, in Block **718** wird die T-T"-Rauminformation gesammelt, in Block **720** wird die R-R"-Rauminformation gesammelt, in Block **722** wird die T-R"-Rauminformation gesammelt, in Block **724** wird die R-T"-Rauminformation gesammelt und in Block **726** wird die T"-R"-Information gesammelt. Die anderen Blöcke in diesem Niveau stellen die Sammlung der anderen Kombinationen von Signalen dar, sodass die Werte dieser Signale in dem entsprechenden zweidimensionalen Raum dargestellt werden. Dann werden die Ergebnisse jeder der Blöcke in der zweiten Reihe an die dritte Reihe bereitgestellt, die aus einer logischen Defektzusammenführfunktion **728** besteht. Die logische Defektzusammenführfunktion **728** könnte mit einem Mikroprozessor realisiert werden, der so programmiert ist, dass er Werte in den Signalpaaren in jedem der Blöcke der zweiten Reihe identifiziert, die einen bestimmten Defekt darstellen und dann sodass ein zusammenfassender Defektbericht aller der Defekte vorbereitet wird, die durch jedes der Signalpaare der verschiedenen Blöcke in der zweiten Reihe aufgedeckt wurden.

## BERECHNUNG DER ZWEITEN ABLEITUNG

**[0153]** Hier wird die Berechnung der zweiten Ableitungen der T- und R-Signale diskutiert. Obwohl diese Transformation nicht eine Punktoperationsfunktion ist, ist eine lokale Nachbarschaft von Pixeln neben dem in Rede stehenden Pixel die einzige Voraussetzung der Bildintegrität zur Berechnung und Analyse der zweiten Ableitung. Es ist offensichtlich, dass alle Merkmale des ersten Aspekts der vorliegenden Erfindung die Reduzierung von Referenzdaten auf eine koordinatenfreie statistische Darstellung umfassen. Die Referenzkarte enthält keine Information über das erwartete Substratverhalten an irgendeinem bestimmten Ort, sondern stellt stattdessen das statistische Verhalten an irgendeinem Punkt auf dem Substrat dar, wobei das gesamte Substrat oder ein interessierender Bereich des Substrats untersucht wird.

**[0154]** Es ist wiederum offensichtlich, dass der erste Aspekt der vorliegenden Erfindung keine Notwendigkeit eines direkten Vergleichs zwischen Testbildern und Referenzbildern aufweist unabhängig davon, ob sie von benachbarten identischen lithographischen Mustern stammen oder aus einer CAD-Datenbank und daher wird immer noch kein Ausrichtungssystem benötigt.

**[0155]** Insbesondere vor der Diskussion des zweiten Ableitungsverfahrens wird die Aufmerksamkeit auf [Fig. 23a](#) gerichtet, in der ein gepixeltes Transmissionswertbild des interessierenden Bereichs eines Substrats **14** dargestellt ist. Für Zwecke der Diskussion ist das Bild als eine Matrix von individuellen Pixeltransmissionswerten,  $t_{x,y}$ , für ein Bild dargestellt, das eine Größe von  $n \times m$  Pixeln aufweist. Es ist auch offensichtlich, dass das gepixelte Reflexionswertbild gleich wäre und die gleiche Größe für den gleichen interessierenden Bereich des Substrats **14** hätte. Solch ein Reflektionswertbild kann visualisiert werden durch Ersetzen der Variablen „t“ in [Fig. 23a](#) durch ein „r“.

**[0156]** Der Zweck der Berechnung der zweiten Ableitung ist es, Information über die Umgebung einer Kante eines Merkmals oder eines Defekts bereitzustellen. Die Berechnung der zweiten Ableitung ist eine lineare Faltungsoperation auf das gegebene Bild. An jedem Pixel in dem Bild (z. B.  $t_{x,y}$  in [Fig. 23a](#)) wird eine lokale rechteckige Umgebung von Pixeln mit dem derzeitigen Pixel in der Mitte (z. B. für eine  $3 \times 3$ -Operation

$$\begin{matrix} t_{x-1,y-1} & & t_{x-1,y} & & t_{x-1,y+1} \\ t_{x,y-1} & t_{x,y} & t_{x,y+1} \\ t_{x+1,y-1} & t_{x+1,y} & t_{x+1,y+1} \end{matrix} \quad \text{in Figur 23a),}$$

in eine lineare Operation durch eine rechteckige Matrix, L, der gleichen Größe ( $3 \times 3$  in diesem Beispiel) eingegeben, sodass ein einziger Ausgangswert für den zweiten Ableitungswert des zentralen Pixel ( $t_{x,y} \rightarrow t''_{x,y}$ ) an diesem Punkt erzeugt wird.

**[0157]** Die Faltung kann wie folgt dargestellt werden:

$$[T''] = [L] O [T] \quad (5)$$

**[0158]** Daher kann der Wert jedes Elements des zweiten Ableitungsbilds wie in [Fig. 23b](#) definiert, mathematisch wie folgt ausgedrückt werden:

$$T''(x,y) = \sum_{ij} L(i,j) T(x-i,y-j) \quad (6)$$

**[0159]** In dieser Operation tritt jedoch eine Erosion an den Kanten des Transmissionspixelbildes auf, dahingehend, dass die resultierende  $T''$ -Bildmatrix wie in [Fig. 23b](#) gezeigt keine Werte in den äußersten Reihen und Spalten um die Kante dieses Bildes aufweist.

**[0160]** Die Auswahl von L zum Ausführen der zweiten Ableitungsfunktion kann viele Formen annehmen. Die Werte für L, die hier dargestellt sind, stellen eine Lambertsche-Technik dar, die im Stand der Technik weit verbreitet ist und eine, die symmetrisch in zwei Dimensionen ist, da die Transformation hier in zwei Dimensionen ausgeführt wird. L wurde in diesem Beispiel so gewählt, dass es eine spektrale Antwort in der anderen Domäne aufweist, die so kreissymmetrisch wie möglich ist.

**[0161]** Daher werden durch diese Operation die  $T \rightarrow T''$ - und  $R \rightarrow R''$ -Transformationen ausgeführt. Für Zwecke der Darstellung wird hier die zweite Ableitung der gepixelten T- oder R-Bilder berechnet durch Annähern

dieser mit einem Hochpassfilter, L, oder einer Faltungsmatrix:

$$L = \begin{bmatrix} d & v & d \\ h & c & h \\ d & v & d \end{bmatrix} \quad (7),$$

wobei typische Werte sind:  $c = 0,1817536$ ,  $d = 0,01539003$  und  $v = h = -0,0648287$ .

**[0162]** Eine alternative Realisierung der Faltungsoperation auf digitalisierte Pixeldaten ist es, dass Bild optisch zu verarbeiten, wobei wohl bekannte Fourierfiltertechniken mit kohärentem Licht verwendet werden, so dass die Hochpassfilterung vor dem Abtastprozess ausgeführt wird.

#### VERFAHREN ZUR ERZEUGUNG EINER REFERENZKARTE

**[0163]** Wie oben erwähnt werden die T-R-, T-T"- und R-R"-Erfassungsräume verwendet, um das Verhalten eines zu untersuchenden Substrats durch Eingrenzen der nicht defekten Bereiche in jedem Erfassungsraum zu charakterisieren. In der Tat beruht der Erfolg des Verfahrens gemäß dem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung darauf, dass es in der Lage ist, die Begrenzungen der defektfreien Bereiche in den T-R-, T-T"- und R-R"-Räumen zu definieren. Die Definitionen dieser Bereiche für jede Referenzkarte sind notwendig für eine zufriedenstellende Defekterfassung, zusätzlich kann jede Referenzkarte Defektklassifikationszonen enthalten, die wie gemäß der Reaktion der Effekte auf den Untersuchungsprozess erwünscht, einstellbar sind.

**[0164]** Experimente zeigten, dass Substrateigenschaften ausreichend variieren, sodass die defektfreien Grenzen für jedes Substrat bestimmt werden müssen, um die Untersuchungsempfindlichkeit für dieses Substrat zu optimieren. Im Gegensatz dazu sind die Defektklassifizierungsbereiche generischer für das Untersuchungsverfahren als das Substrat und Fehler in der Klassifikation haben einen niedrigeren Kostenwert als Fehler in der Erfassung. Daher werden die Klassifikationszonen in der Praxis weniger häufig eingestellt und können durch heuristische und langfristige statistische Analyse von Defekteigenschaften eingestellt werden.

**[0165]** Der Zweck dieses Abschnitts ist es, zu erklären, wie eine nominale nicht defekte Substratinformation in dem Erfassungsraum erhalten und codiert wird (d. h. experimentelle Bestimmung von Formen und Toleranzbereichen defektfreier Zonen in T-R-, T-T"- und R-R"-Räumen). Analytische Verfahren zum Bestimmen des defektfreien Bereichs in der T-R-Referenzkarte werden nachfolgend beschrieben, wobei diese Verfahren zu der Bestimmung der defektfreien Grenzen für die T-T"- und R-R"-Referenzkarten überleiten.

**[0166]** Im Allgemeinen kann eine Referenzkartenerstellung als ein Trainingsprozess betrachtet werden, in dem das nominale Verhalten des Substrattyps durch ein repräsentatives Abtasten eines defektfreien Bereichs einer ausgewählten Anzahl von Substraten des gleichen Typs beobachtet wird, um Produktionstoleranzen zu berücksichtigen. Es ist offensichtlich, dass Referenzkurven entwickelt werden können, wobei ein einziges Substrat verwendet wird, jedoch liefert die Verwendung verschiedener ein besseres statistisches Mittel und die Möglichkeit den Einschluss eines Defekts in einem der Probensubstrate zu überwinden. Daher wird jedes Substrat, welches für das Einrichten des Systems verwendet wird, in dem gleichen Bereich abgetastet und die T-, R-, T"- und R"-Signale werden an den Abtastpunkten gemessen und diese Signale werden dann im Erfassungsraum als ein Bericht der Probenpopulation aufgetragen.

**[0167]** Eine Filterung (nachfolgend beschrieben) wird dann auf diesen Datenbericht angewandt, um das wahre statistische Verhalten defektfreier Pixel für den bestimmten Substrattyp, der verwendet wird um die defektfreien Bereiche in jeder der Referenzkarten zu entwickeln, anzunähern. Daher erzeugt dieses Verfahren eine Referenzkarte wobei jeder Punkt durch einen Binärwert als defekt oder nicht defekt bezeichnet ist. Die so entwickelte Referenzkarte kann dann auf andere Werte erstreckt werden und für Defektklassifizierungszwecke weiter codiert werden.

**[0168]** Insbesondere ist eine Fläche auf dem Substrat mit repräsentativen photolithographischen Mustern ausgewählt, um als typische Referenzprobe für die zu untersuchenden Substrate zu dienen. Dieser Probenbereich kann von einem Benutzer des Überprüfungssystems oder automatisch unter Steuerung des Systemcomputers gewählt werden. Mit irgendeinem Verfahren zum Auswählen des Referenzprobenbereichs zur Referenzbereichscharakterisierung ist es notwendig, dass die Referenzprobe so gut wie möglich frei von Defekten ist. Nachdem die Referenzproben gewählt sind, werden transmittierte und reflektierte Lichtbilder der Referenzproben in dem ausgewählten Bereich aufgenommen.

**[0169]** An diesem Punkt kann eine Anzahl von Verfahren angewendet werden, um den defektfreien Bereich in jeder der Referenzkarten zu erhalten. Drei dieser Verfahren, die durch automatische Berechnung durchgeführt werden können, werden nachfolgend beschrieben.

**[0170]** Zum Beispiel kann ein binärer Streuplot aller von den Proben/der Probe aufgenommenen Pixeln in der T-R-Ebene erzeugt werden, wobei jedem Punkt im T-R-Raum, der mit mindestens einem Pixel belegt ist, ein Wert Eins zugeordnet ist. Allen verbleibenden nicht belegten Punkten in der T-R-Ebene sind Nullwerte zugeordnet. Typischerweise werden die meisten der belegten Punkte in einem Cluster in der Einhüllenden **421** ([Fig. 20](#)) konzentriert, jedoch gibt es auch einige nicht belegte Punkte innerhalb dieser Einhüllenden und möglicherweise einige belegte Punkte außerhalb dieser Einhüllenden aufgrund von Anomalitäten in der Probe.

**[0171]** Als nächstes wird dieser binäre Streuplot so angewendet, dass eine zusammenhängende Fläche innerhalb der Einhüllenden **421** erzeugt wird, in der alle Punkte einheitliche Werte aufweisen, umgeben nur von Nullen im Rest der T-R-Ebene. Um dies zu erreichen, werden binäre morphologische Standardoperationen ausgeführt, wie auf Seiten 384–389 eines Buchs mit dem Titel „Fundamentals of Digital Image Operation“, geschrieben von Anil K. Jain, (Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1989) beschrieben.

**[0172]** Typischerweise kann zunächst eine Dilatationsoperation ausgeführt werden, wobei ein symmetrischer Kernel verwendet wird, der zumindest groß genug ist, um alle die Lücken zu entfernen, die innerhalb des Körpers des Probenclusters zwischen den Pixeln ursprünglicher Größe vorhanden waren. Das Ergebnis ist eine binäre Verteilung, die gefüllt und ausgedehnt wurde.

**[0173]** Ähnlich kann eine Erosionsoperation verwendet werden, welche einen symmetrischen Kernel verwendet, um eine Referenzeinhüllende der erforderlichen Größe zu erzeugen. Daher wird die Untersuchungsempfindlichkeit gesteuert durch Einstellen der Größe der abschließenden Referenzeinhüllenden und daher der Natur und der Größe der abschließenden Operation. Eine Dilatation der Einhüllenden reduziert die Empfindlichkeit, während eine Erosion den entgegengesetzten Effekt hat. Im Allgemeinen sollte die abschließende Einhüllende größer sein als das Probencluster, da das endliche Probencluster nur teilweise die statistische Verteilung freier Defektpunkte darstellt.

**[0174]** Für eine genauere Darstellung der Probendaten kann ein mehrwertiges Histogramm der Referenzprobe im T-R-Raum bevorzugt sein statt eines binären Streuplots. Diesen Ansatz verwendend wird ein tatsächlicher Zähler für jede Koordinate innerhalb des T-R-Raums erhalten wenn die Probensubstrate abgetastet werden, um den defektfreien Bereich im T-R-Raum zu entwickeln. Dieses Histogramm kann dann bewertet werden durch Anwenden eines integrierenden Filters und wird durch Setzen eines Schwellenwerts in eine binärwertige Karte umgewandelt.

**[0175]** Der Vorteil des Histogrammansatzes ist es, dass T-R-Punkte mit der Häufigkeit ihres Auftretens gewichtet werden, sodass selten auftretende T-R-Punkte während der Integration nicht so schwer gewichtet werden wie häufige Werte. Auch entfernt das Einstellen der abschließenden Schwellenwertsteuerungen anormale unregelmäßig auftretende Werte aus der abschließenden T-R-Referenzkarte. Darüber hinaus ermöglicht auch die Breite des integrierenden Filters eine gewisse Empfindlichkeitssteuerung.

**[0176]** Eine weitere Technik des Bearbeitens des Probenhistogramms um den effektfreien Bereich zu definieren erfolgt durch mehrwertige Morphologie wie in einem Aufsatz von Haralick et al. erklärt: „Image Analysis Using Mathematical Morphology“, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Band PA-MI-9, Nr. 4, Juli 1987. Dieser Verarbeitungsansatz ist eine mehrwertige Erweiterung der bereits zitierten binären Morphologie, welche Dilatations- und Erosionsoperationen auf Funktionen mit mehrwertigem Bereich definiert. Dieser Ansatz stellt gewissermaßen einen Hybriden der beiden zuvor genannten Ansätze dar, dahingehend, dass mehrwertige Dilatationen und Erosionen angewandt werden statt eines integrierenden Filters, um ein geglättetes Histogramm zu erhalten und eine abschließende Schwellenwertoperation würde die Abbildung auf einen Binärwert reduzieren.

#### ANDERE AUSFÜHRUNGSFORMEN

**[0177]** Wie oben diskutiert kann ein Laserabtastsystem verwendet werden, um gleichzeitig transmittierte und reflektierte Lichtsignalpaare zu erzeugen, das Verfahren zur Überprüfung und Defektklassifizierung des ersten Aspekts der vorliegenden Erfindung kann mit einem Bildabtasttest verwendet werden, der in der Lage ist, synchronisierte, transmittierte und reflektierte Lichtsignalpaare zu erzeugen.

**[0178]** Darüber hinaus kann dieses Verfahren zur Erfassung und Klassifizierung mit einem Bildabtastprozess verwendet werden, der in der Lage ist, synchronisierte Mehrfachlichtsignale zu erzeugen, die durch eine Anzahl von Lichtdetektoren erzeugt werden, die in irgendeiner Richtung um das Substrat angeordnet sind, das durch irgendeine Lichtquelle, die unter einem Winkel auf das Substrat gerichtet ist, beleuchtet wird. Wie in der Diskussion des Erfassungsraums erklärt, muss die Anzahl und Natur der Observablen nicht auf T, R, T" und R" beschränkt sein, solange es eine ausreichende Korrelation innerhalb der Observablen gibt, sodass eine Referenzkarte erzeugt werden kann, um eine zufriedenstellende Erfassung und Klassifizierung auszuführen.

**[0179]** Ein alternatives Verfahren zum Erfassen und Klassifizieren von Defekten liegt in neuronalen Netzwerkverfahren. Zum Beispiel können die Erfassungsräume und Referenzkarten, die durch die oben diskutierten Prozesse entwickelt wurden, als eine Eingabe-/Ausgabeabbildung mit einem dreischichtigen Rückwärtsausbreitungsnetzwerk (Backpropagation Network; BPN) wie Seiten 89–126 in einem Buch „Neural Networks – Algorithms, Applications, and Programming Techniques“ von J. A. Freeman und D. M. Skapura, Addison-Wesley, Reading, MA, 1991 beschrieben, realisiert werden.

**[0180]** Für den neuronalen Netzwerkansatz sind die Anforderungen an das Abtastsystem die gleichen wie oben diskutiert mit der folgenden Modifikation. Ein typisches BPN, das in [Fig. 25](#) dargestellt ist, ist aus drei Schichten von Neuronen, einer Eingabeschicht, einer verborgenen Verarbeitungsschicht und einer Ausgabeschicht zusammengesetzt. Jedes Neuron in der Eingabeschicht empfängt eine Observable (z. B. ein einziges Pixel der lokalen rechteckigen Umgebung von Pixeln, die oben in Bezug auf [Fig. 23a](#) und [Fig. 23b](#) diskutiert wurden, sowohl aus den T- als auch aus den R-Signalen) als ein Eingabesignal und leitet es an die zweite oder verborgene Schicht. Jedes Neuron in der verborgenen Schicht empfängt alle Ausgänge von allen Neuronen in der ersten Schicht und erzeugt ein unabhängiges Ausgangssignal und jedes Neuron in der dritten Schicht empfängt alle Ausgänge von allen Neuronen in der verborgenen Schicht und erzeugt ein unabhängiges Ausgangssignal. Daher erzeugt jedes Neuron ein Ausgangssignal basierend auf einer gewichteten linearen Aktivierungsfunktion der kombinierten Eingänge aller Knoten in der vorangehenden Schicht. Jede dieser gewichteten linearen Aktivierungsfunktionen wurde während der Lernphase durch Variationen in der individuellen Vorspannung jedes Knotens der verborgenen und Ausgabeschichten bestimmt. Die Vorspannungsfunktionen können entweder berechnet und dann auf die entsprechende Vorspannungseinheit angewandt werden oder das Lernen kann in einer dynamischen Umgebung ausgeführt werden, in einigen Anwendungen, in denen nicht alle möglichen Ergebnisse zu Anfang bekannt sind, sogar in einer fortlaufenden Prozedur. Eine zusätzliche Diskussion der Lernphase wird nachfolgend präsentiert, um diesen Prozess weiter darzustellen.

**[0181]** Es ist offensichtlich, dass im Betrieb, obwohl jeder Knoten in den verborgenen und Ausgabeschichten das Ausgabesignal von jedem Knoten der vorangehenden Schicht empfängt, nicht alle dieser Signale notwendigerweise bei der Leistung der bestimmten Funktion dieses bestimmten Knotens verwendet werden. Die Verbindung aller Knoten in der vorangegangenen Schicht mit jedem Knoten in der nächsten Schicht ist das Ergebnis der bei der Herstellung des BPN verwendeten Standardisierung, da der Effekt der verschiedenen Signale effektiv an denjenigen Knoten ignoriert werden kann, an dem das Signal nicht von Interesse ist. Das heißt, die Vorspannung jedes verborgenen Knotens kann so eingestellt werden, dass ein Ausgangssignal von diesem Knoten erzeugt wird, das eine Näherung des Werts, z. B. in dem T-T"-Raum des ersten Aspekts der vorliegenden Erfindung, ist, während die R-R"-Signale von den Eingabeschichtknoten ignoriert werden.

**[0182]** Daher kann ein solches BPN vier Eingabeneuronen für die vier Observablen T, R, T" und R", eine verborgene Schicht, welche viele verschiedene Aktivierungspotenziale entsprechend verschiedenen Korrelationen in den Daten misst und eine Ausgabeschicht aufweisen, welche einen Satz von Mitgliedsraten erzeugt, wobei jedem Ausgabeneuronknoten ein Mitgliedswert für eine bestimmte Defektklasse zugeordnet ist. Die abschließende Bewertung kann durch die Klasse mit dem maximalen Mitgliedswert bestimmt werden. Diese Realisierung ist tatsächlich ein alternatives Verfahren zum Bestimmen der gleichen Eingabe-Ausgabe-Beziehung, die als die Referenzkarte bezeichnet wird, die ein genetischer Aspekt der vorliegenden Erfindung ist. In der Tat entspricht die Eingabeschicht den Koordinaten des Erfassungsraums, die Ausgabesignale entsprechen der Defektklassenzuordnung für ein gegebenes Eingabesignal und die verborgene Schicht entspricht einer optimalen analytischen oder logischen Prozedur zum Zuordnen einer Klasse zu jeder Eingabe, so wie in der Referenzkarte verkörpert.

**[0183]** Das Rückausbreitungsmerkmal eines solchen Netzwerks wird verwendet, um die Richtungen in den verborgenen und Ausgabeschichten zu trainieren, sodass die gewünschte Abbildung erzielt wird und Fehler minimiert werden. Die zuvor beschriebene Trainingsprozedur kann leicht an diese Realisierung angepasst werden durch Führen der Abtastdaten durch die Rückausbreitungsprozedur und Anpassen der Richtungen, so dass die erwünschten Ausgaben zu den Eingaben passen. Darüber hinaus ermöglicht es eine Rückwärtsaus-

breitung dem BPN während der Benutzung mit dem BPN fortzufahren, wann immer eine sekundäre Defektverifikationsprozedur benötigt wird.

**[0184]** Eine weitere Abwandlung dieses Ansatzes setzt an, wenn das Netzwerk auch die Filterung der T- und R-Signale ausführt, sodass die Eingabeschicht aus 18 Eingabeneuronen besteht, welche die neun transmittierten Werte und die neuen reflektierten Werte, die in einer 3 mal 3-Nachbarschaft von Pixeln enthalten sind, aufnimmt.

**[0185]** Während der erste Aspekt der vorliegenden Erfindung in verschiedenen Betriebsarten und mit beispielhaften Routinen und Vorrichtungen beschrieben wurde, ist in Betracht zu ziehen, dass ein Fachmann beim Lesen der vorangegangenen Beschreibungen und Studieren der Zeichnungen verschiedene alternative Ansätze für die Realisierung des ersten Aspekts der vorliegenden Erfindung erkennen wird. Es ist daher beabsichtigt, dass die folgenden angefügten Ansprüche so interpretiert werden, dass sie alle solchen Änderungen und Modifikationen umfassen, die in den Schutzbereich des ersten Aspekts der vorliegenden Erfindung der beigefügten Ansprüche fallen.

### Patentansprüche

1. Überprüfungssystem (10) zur Überprüfung eines Substrates (14) und um zwischen Oberflächenmerkmalen und Defekten zu unterscheiden, wobei das Substrat eine gemusterte und eine ungemusterte Oberfläche mit einem Muster aus opakem Material auf der gemusterten Oberfläche hat, wobei das Überprüfungssystem aufweist:

ein Belichtungssystem (11), um dem Substrat eine Belichtung bereitzustellen,  
einen Transmissionsdetektor (34), der ausgerichtet ist, um Belichtung, die durch das Substrat transmittiert wurde, zu erfassen und um ein Signal (15) bereitzustellen, das für die Intensität der erfassten durch das Substrat transmittierten Belichtung repräsentativ ist,  
ein Reflexionsdetektor (36), um die Belichtung zu erfassen, die von dem Substrat und dem Muster darauf reflektiert wurde, und um ein Signal (17) bereitzustellen, das die Intensität der erfassten von dem Substrat und dem Muster darauf reflektierten Belichtung repräsentiert, und ein Elektronik- und Steuersubsystem (19), das betreibbar ist, die Präsenz einer Anomalie zu bestimmen durch Analysieren der synchronisierten Transmissions- und Reflexionssignale (15, 17) und einer oder mehrerer der zweiten räumlichen Ableitungen der synchronisierten Transmissions- und Reflexionssignale (15, 17), die von dem Substrat (14) abgeleitet werden, das zu untersuchen ist.

2. Überprüfungssystem (10) nach Anspruch 1, bei dem das Elektronik- und Steuersubsystem (19) weiterhin beinhaltet:

einen ersten Speicher, der im Gebrauch einen Satz von mehreren unterschiedlichen erwarteten Werten speichert, wobei jeder erwartete Wert zu Kombinationen der Intensitäten korrespondiert, bei denen es keine Defekte gibt, und

einen Prozessor, der funktionell mit dem Transmissions- und Reflexionsdetektor (34, 36) und dem ersten Speicher verbunden ist, wobei der Prozessor im Gebrauch den gespeicherten Satz aus Werten verwendet, um zu bestimmen, ob die Signale von den Detektoren einem erwarteten Wert entsprechen und um einen Bericht zu erzeugen, wenn ein nicht erwarteter Wert bestimmt wird.

3. Überprüfungssystem (10) nach Anspruch 1, bei dem:

das Überprüfungssystem weiterhin einen zweiten Speicher beinhaltet, um das Signal von dem Transmission- oder Reflexionsdetektor zu speichern bis das Signal von dem anderen Detektor vom selben Punkt auf der Oberfläche des Substrates (14) bestimmt wird, und

wobei das Elektronik- und Steuersubsystem (19) die Transmissions- und Reflexionssignale durch eine Kombination des zweiten Speichers und der Transmissions- und Reflexionsdetektoren erhält.

4. Überprüfungssystem (10) nach Anspruch 2, bei dem:

das Überprüfungssystem weiterhin aufweist, einen zweiten Speicher, um das Signal von entweder dem Transmissions- oder dem Reflexionsdetektor (34, 36) zu speichern bis das entsprechende Signal von dem anderen Detektor vom selben Punkt auf der Oberfläche des Substrates (14) bestimmt wird, und

das Elektronik- und Steuersubsystem (19) die Übertragungs- und Reflexionssignale durch eine Kombination aus dem zweiten Speicher und dem Transmissions- und Reflexionsdetektor empfängt.

5. Überprüfungssystem (10) nach Anspruch 2, bei dem:

das Überprüfungssystem weiterhin aufweist, einen dritten Speicher, um eine Mehrzahl von Signalpaaren von

dem Transmissions- und Reflexionsdetektoren (**34, 36**), die von der Beleuchtung desselben Punktes auf einer selben Mehrzahl von Substraten desselben Designs herrührt, zu speichern, um einen Bereich von erwarteten Werten für jedes der Signale von jedem Transmissions- und Reflexionsdetektor zu erzeugen, und das Elektronik- und Steuersubsystem (**19**) mit dem dritten Speicher verbunden ist, um ebenso einen Bereich aus erwarteten Werten für das zu überprüfende Substrat (**14**) zu erzeugen.

6. Überprüfungssystem (**10**) nach Anspruch 2, bei dem:

das Überprüfungssystem weiterhin aufweist:

einen vierten Speicher, um systematisch Werte von dem Transmissions- und Reflexionsdetektor (**34, 36**) und den entsprechenden Ort des entsprechend beleuchteten Punktes auf dem Substrat (**14**) für jeden entsprechenden beleuchteten Punkt auf dem Substrat zu speichern, und

einen Funktionsgenerator der angeordnet ist, um gespeicherte Werte von dem vierten Speicher zu erhalten, um eine spezifische Funktion aus den Signalwerten, die im vierten Speicher gespeichert sind, zu erzeugen, und

wobei das Elektronik- und Steuersubsystem (**19**) weiterhin Signale von mindestens zwei Elementen der Gruppe bestehend aus Transmissionsdetektor, Reflexionsdetektor und Funktionsgenerator erhält, um erwartete und unerwartete Werte zu bestimmen.

7. Überprüfungssystem (**10**) nach Anspruch 6, bei dem der Funktionsgenerator eine erste ausgewählte spezifische Funktion der Übertragungssignale (**15**) und eine zweite ausgewählte spezifische Funktion der Reflexionssignale (**17**) aus den entsprechenden Werten von jedem der in dem vierten Speicher abgelegten Signale erzeugt.

8. Überprüfungssystem (**10**) nach Anspruch 6, bei dem die ausgewählte spezifische Funktion eine zweite Ableitung ist.

9. Überprüfungssystem (**10**) nach Anspruch 8, bei dem zumindest die erste oder die zweite spezifische Funktion eine zweite Ableitung ist.

10. Überprüfungssystem (**10**) nach Anspruch 2, bei dem:

der erste Speicher weiterhin gespeicherte potentielle unerwünschte Teilchen und Merkmalstypen und einen Bereich von Vergleichswerten für jeden unerwünschten Teilchen- und Merkmalstyp beinhaltet, und

das Elektronik- und Steuersubsystem (**19**), weiterhin, wenn ein unerwarteter Wert erhalten wird, unerwünschte Teilchen- und Merkmalstypinformation, die dem unerwarteten Wert entspricht, von dem ersten Speicher erhält und die unerwünschte Teilchen- und Merkmalstypinformation in einen Bericht einfügt.

11. Überprüfungssystem (**10**) nach Anspruch 2, das weiterhin aufweist:

eine Übersetzungsstufe (**12**), die betreibbar ist, um ein Positionssignal zu erzeugen, das dem Ort eines Belichtungspunktes auf dem Substrat (**14**) entspricht, und bei dem das Elektronik- und Steuersubsystem (**19**) weiterhin mit der Übersetzungsstufe verbunden ist, um die Positionssignale zu empfangen, und, wenn ein unerwarteter Wert erhalten wird, weiterhin die Positionssignale dekodiert und die Substratortsinformation für jedes unerwünschte Teilchen und Merkmal in dem Bericht bereitstellt.

12. Überprüfungssystem (**10**) nach Anspruch 2, das weiterhin aufweist:

eine Versetzungsstufe (**12**) die betreibbar ist, um ein Positionssignal zu erzeugen, das einem Ort eines Punktes auf dem belichteten Muster auf dem Substrat entspricht, und

wobei das Elektronik- und Steuersubsystem (**19**) weiterhin mit der Versetzungsstufe verbunden ist, um die Positionssignale zu empfangen, und, wenn ein unerwarteter Wert erhalten wird, weiterhin die Positionssignale dekodiert und eine gemusterte Oberfläche der Substratortsinformation für jedes unerwünschte Teilchen und Merkmal in dem Bericht bereitstellt.

13. Überprüfungssystem (**10**) nach Anspruch 2, bei dem der erste Speicher einen Toleranzwert für die gespeicherten erwarteten Werte beinhaltet.

14. Überprüfungssystem (**10**) nach Anspruch 1, bei dem der Transmissionsdetektor (**34**) und der Reflexionsdetektor (**36**) Bildscanner sind.

15. Überprüfungssystem (**10**) nach Anspruch 1, bei dem der Transmissionsdetektor (**34**) und der Reflexionsdetektor (**36**) neuronale Netzwerke sind.

16. Überprüfungssystem (10) nach einem der Ansprüche 1, 10, 11 und 12, wobei das Elektronik- und Steuersubsystem (19) beinhaltet:

einen Computer (24), der eine Datenbank hostet, welche die Werte von gepaarten erwarteten Werte von dem Transmissions und dem Reflexionsdetektor (34, 36) für jeden Punkt, der für den bestimmten Substrattyp (14), das untersucht wird, enthält, und

einen Prozessor, der mit dem Transmissionsdetektor und Reflexionsdetektor und der Datenbank verbunden ist, wobei der Prozessor die gepaarten erwarteten Werte verwendet, um zu bestimmen, wenn ein Wert von jedem der Signale von dem Transmissionsdetektor und dem Reflexionsdetektor mit den Werten des erwarteten Paares des Transmissions- und Reflexionssignals von der Datenbank übereinstimmt, um die Anwesenheit eines Defektes am Untersuchungspunkt auf dem Substrat zu identifizieren.

17. Überprüfungssystem (10) nach Anspruch 16, wenn abhängig von Anspruch 10, 11 oder 12, wobei der Prozessor weiterhin mit dem ersten Speicher verbunden ist, wobei der Prozessor für die Verwendung vorgesehen ist, weiterhin den Typ von unerwünschten Teilchen oder Defekt zu identifizieren, wenn ein unerwarteter Wert bestimmt wird.

18. Überprüfungssystem (10) nach Anspruch 1, bei dem die Belichtung durch das Belichtungssystem als ein Belichtungsstrahl bereitgestellt wird.

19. Überprüfungssystem (10) nach einem der vorherigen Ansprüche, bei dem das Elektronik- und Steuersubsystem (19) weiterhin betreibbar ist, um den Typ der Anomalie zu identifizieren durch Analysieren der synchronisierten Transmissions- und Reflexionssignale (15, 17).

20. Verfahren zum Untersuchen eines Substrates (14) nach unerwünschten Teilchen und Merkmalen, wobei das Substrat eine gemusterte und eine ungemusterte Oberfläche mit einem Muster aus einem opaken Material auf der gemusterten Fläche hat, wobei das Verfahren die Schritte aufweist:

- a) Richten einer Beleuchtung auf das Substrat,
- b) Erfassen der durch das Substrat übertragenen Beleuchtung,
- c) Erzeugen eines Signals (15), das die Intensität der erfaßten übertragenen Beleuchtung von Schritt b) repräsentiert,
- d) Erfassen der Beleuchtung, die von dem Substrat von dem Muster hierauf reflektiert wurde,
- e) Erzeugen eines Signals (17), das die Intensität der erfaßten reflektierten Beleuchtung von Schritt d) repräsentiert, und
- f) Bestimmen aus den Intensitäten des Signals (15) von Schritt c) das Signal (17) von Schritt e) und ein oder mehrere der zweiten räumlichen Ableitungen hiervon, wenn Defekte auf dem Substrat vorhanden sind.

21. Verfahren nach Anspruch 20, das weiterhin aufweist:

- g) Speichern eines Satzes von mehreren unterschiedlichen erwarteten Werten, wobei jeder erwartete Wert den transmittierten oder reflektierten Signalintensitäten entspricht, wenn Defekte nicht auf dem Substrat vorhanden sind, Vergleichen der Ergebnisse von Schritt f) mit den erwarteten Werten und
- h) Erzeugen eines Defektberichtes aus den Ergebnissen von Schritt f).

22. Verfahren nach Anspruch 20 oder 21, das weiterhin die Schritte aufweist:

- i) Versetzen des Substrates in eine nächste Position und
- j) Wiederholen der Schritte a) bis i) für jeden interessierenden Punkt auf dem Substrat.

23. Verfahren nach Anspruch 22, bei dem:

das Verfahren weiterhin beinhaltet den folgenden Schritt zwischen den Schritten e) und g):

k) Speichern des Signals von einem der Schritte c) und e) bis das andere Signal von dem anderen der Schritte c) und e) verfügbar ist, und

Durchführen von Schritt f) mit dem in Schritt k) gespeicherten Signal und dem ungespeicherten der Signale von den Schritten c) und e).

24. Verfahren nach Anspruch 22, bei dem:

das Verfahren weiterhin den folgenden Schritt zwischen den Schritten e) und g) beinhaltet:

k) Speichern des Signals von einem der Schritte c) und e) für jeden auf dem Substrat beleuchteten Punkt bis das andere Signal von dem anderen der Schritte c) und e) für denselben Punkte auf dem Substrat verfügbar ist, und

Durchführen von Schritt f) für jeden Punkt auf dem Substrat aus dem Signal, das in Schritt k) gespeichert wurde für diesen Punkt und aus dem ungespeicherten der Signale von den Schritten c) und e) für denselben Punkt

auf dem Substrat.

25. Verfahren nach Anspruch 21, bei dem vor Schritt a), um die erwarteten Werte zu bestimmen, das Verfahren weiterhin die Schritte aufweist:

- a1) Auswählen eines Substrates des zu untersuchenden Typs,
- a2) Richten einer Beleuchtung im Wesentlichen senkrecht auf die Oberfläche des Substrates,
- a3) Erfassen in Ausrichtung mit der Beleuchtung der Schritte a2) der durch das Substrat transmittierten Beleuchtung,
- a4) Erzeugen eines Signals, das die Intensität der erfaßten transmittierten Beleuchtung von Schritt a3) repräsentiert,
- a5) Erfassen entlang des Pfades von Schritt a2) der von dem Substrat und dem Muster hierauf reflektierten Beleuchtung,
- a6) Erzeugen eines Signals, das die Intensität der erfaßten reflektierten Beleuchtung von Schritt a5) repräsentiert,
- a7) Erzeugen eines erwarteten Wertes der Intensitäten in Bezug zueinander aus den Schritten a4) und a6),
- a8) Speichern des erwarteten Wertes,
- a9) Wiederholen der Schritte a1) bis a8) für eine ausgewählte Anzahl von unterschiedlichen Substraten des zu untersuchenden Typs, und dann:
- a10) Auswählen eines zu untersuchenden Substrates.

26. Verfahren nach Anspruch 25, das weiterhin aufweist:

nach Schritt a8) beinhaltet das Verfahren weiterhin die Schritte:

- a8a) Versetzen des Substrates in eine nächste Position und
- a8b) Wiederholen der Schritt a2) bis a8) für jeden interessierenden Punkt auf dem Substrat von Schritt a1), nach Schritt g) beinhaltet das Verfahren weiterhin den Schritt:
  - g1) Versetzen des Substrates in eine nächste Position, wobei der Bericht erzeugt wird, wenn irgendein Wert für einen bestimmten Punkt auf dem Substrat keinen erwarteten Wert für einen entsprechenden Punkt auf einem Substrat desselben Typs entspricht.

27. Verfahren nach Anspruch 21, bei dem:

nach Schritt e) das Verfahren weiterhin die Schritte aufweist:

- e1) Speichern der erzeugten Signale der Schritte c) und e) zusammen mit einem Ort eines Punktes auf dem in Schritt a) beleuchteten Substrat,
  - e2) Versetzen des Substrates in eine nächste Position und
  - e3) Wiederholen der Schritte a) bis g) für jeden interessierenden Punkt auf dem Substrat, danach
  - e4) Erzeugen eines Signals entsprechend eines ersten ausgewählten Funktionswertes der Signalwerte für das gespeicherte Transmissions- oder Reflexionssignal von Schritt g) für jeden interessierenden Punkt auf dem zu untersuchenden Substrat,
  - e5) Speichern der Signalwerte von Schritt e4) zusammen mit dem entsprechenden Punkt auf der Oberfläche des Substrates,
- wobei in Schritt g) das Speichern eines Satzes von mehreren unterschiedlichen erwarteten Werten das Erzeugen erwarteter Werte für jede Kombination der drei in Schritt e1) und Schritt e5) für jeden interessierenden Punkt auf einem Substrat des zu untersuchenden Typs gespeicherten Werte aufweist,
- wobei in Schritt f) die Bestimmung mit zwei oder mehreren der Signalwerte der Schritte e1) und e5) in Bezug zueinander für jeden interessierenden Punkt auf dem zu untersuchenden Substrat durchgeführt wird, und in Schritt h) der Defektbericht Defekte, die in Schritt f) identifiziert wurden, beinhaltet und zwar für jeden interessierenden Punkt auf dem zu untersuchenden Substrat, der nicht mit einem erwarteten Wert, der für diesen Punkt auf der Oberfläche des Substrates des zu untersuchenden Typs in Schritt g) gespeichert wurde, übereinstimmt.

28. Verfahren nach Anspruch 27, bei dem Schritt e4) weiterhin den Schritt aufweist:

- e4a) Erzeugen eines Signals entsprechend einem zweiten ausgewählten Funktionswertes der Signalwerte für das andere Signal des gespeicherten Transmissions- und Reflexionssignals von Schritt e1) für jeden interessierenden Punkt auf dem zu untersuchenden Substrat.

29. Verfahren nach Anspruch 27 oder 28, bei dem die erste ausgewählte Funktion von Schritt e4) eine zweite Ableitung ist.

30. Verfahren nach Anspruch 29, bei dem die zweite ausgewählte Funktion von Schritt e4a) eine zweite Ableitung ist.

31. Verfahren nach Anspruch 21, bei dem:

Schritt g) weiterhin den Schritt aufweist:

m) Speichern von zumindest einem möglichen unerwünschten Teilchen und Merkmalstyps und einen Bereich von unerwarteten Werten, die dem unerwünschten Teilchen- und Merkmalstyp entspricht, und

Schritt h) weiterhin den Schritt aufweist:

n) Einschließen von unerwünschter Teilchen- und Merkmalstypinformation von Schritt m) in den Defektbericht.

32. Verfahren nach Anspruch 22, bei dem:

Schritt g) weiterhin die Schritte aufweist:

o) Speichern zumindest eines möglichen unerwünschten Teilchen- und Merkmalstyps und eines Bereiches von unerwarteten Werten, die mit dem unerwünschten Teilchen- und Merkmalstyp korrespondieren, und

Schritt h) weiterhin den Schritt aufweist:

p) Einschließen unerwünschter Teilchen- und Merkmalstypinformation von Schritt o) in dem Defektbericht.

33. Verfahren nach Anspruch 22, bei dem:

Schritt i) den Schritt aufweist:

q) Erzeugen eines Positionssignals, das zu einem Punkt auf dem Schritt a) zu beleuchtenden Substrates entspricht,

Schritt f) den Schritt aufweist:

r) Identifizieren des Positionssignals von Schritt q), das jedem identifiziertem Defekt entspricht, und

Schritt h) den Schritt aufweist:

s) Einschließen in den Defektbericht den entsprechenden Punkt auf dem Substrat von Schritt r), wo ein unerwünschtes Teilchen und Merkmal erfaßt wurde.

34. Verfahren nach Anspruch 22, bei dem:

Schritt i) den Schritt aufweist:

t) Erzeugen eines Positionssignals, das einem Punkt auf dem Substrat entspricht, das in Schritt a) beleuchtet wurde, und

Schritt h) den Schritt aufweist:

u) Einschließen in den Defektbericht den entsprechenden Punkt auf dem Substrat von Schritt t), wo ein unerwünschtes Teilchen und Merkmal erfaßt wurde.

35. Verfahren nach Anspruch 21, bei dem Schritt g) ebenso das Speichern einer Toleranz für die gespeicherten erwarteten Werte aufweist.

36. Verfahren nach Anspruch 25 oder Anspruch 26, bei dem Schritt f) ebenso einen Toleranzwert für die erwarteten Werte bestimmt.

37. Verfahren nach Anspruch 27, bei dem Schritt f) ebenso einen Toleranzwert für die erwarteten Werte bestimmt.

38. Verfahren nach Anspruch 21, bei dem:

nach Schritt g) das Verfahren weiterhin die Schritte aufweist:

i) Speichern eines Paares erwarteter Werte der Signalwerte, die die erfaßte, transmittierte und reflektierte Beleuchtung für den bestimmten zu untersuchenden Substrattyp repräsentieren, und

ii) Bestimmen aus jedem der Signalwerte der Schritte c) und e) und jedem der Signalwerte von Schritt i) das Auftreten eines unerwünschten Ergebnisses, und

wobei in Schritt h) der Bericht ebenso erzeugt würde, wenn keines der Signale nicht mit dem erwarteten Wert in Schritt i) übereinstimmt.

39. Verfahren nach Anspruch 38, bei dem:

das Verfahren weiterhin die Schritte aufweist:

Bereitstellen einer Bewegung zu dem Substrat und der gerichteten Beleuchtung von Schritt a) und

Wiederholen der Schritte a), b), c), d), e), f) und g) und i) und ii) für jeden Punkt, der auf der Oberfläche des Substrates belichtet wird, und

wobei Schritt i) weiterhin den Schritt des Speicherns eines Paares von erwarteten Werten von Signalwerten, die repräsentativ für die erfaßte, transmittierte und reflektierte Beleuchtung ist, und entsprechender Positionsdaten für jeden Punkt, der auf der Oberfläche beleuchtet wird für den bestimmten zu überprüfenden Substrattyp beinhaltet.

40. Verfahren nach Anspruch 20, bei dem die Belichtung einen Belichtungsstrahl aufweist.
41. Verfahren nach Anspruch 20, bei dem die gemusterte Oberfläche des Substrates der Beleuchtungsquelle zugewandt ist.
42. Verfahren nach einem vorherigen Anspruch, der den Schritt des Bestimmens des Defekttyps, der auf dem Substrat (14) aufgetreten ist, aufweist.

Es folgen 19 Blatt Zeichnungen

## Anhängende Zeichnungen

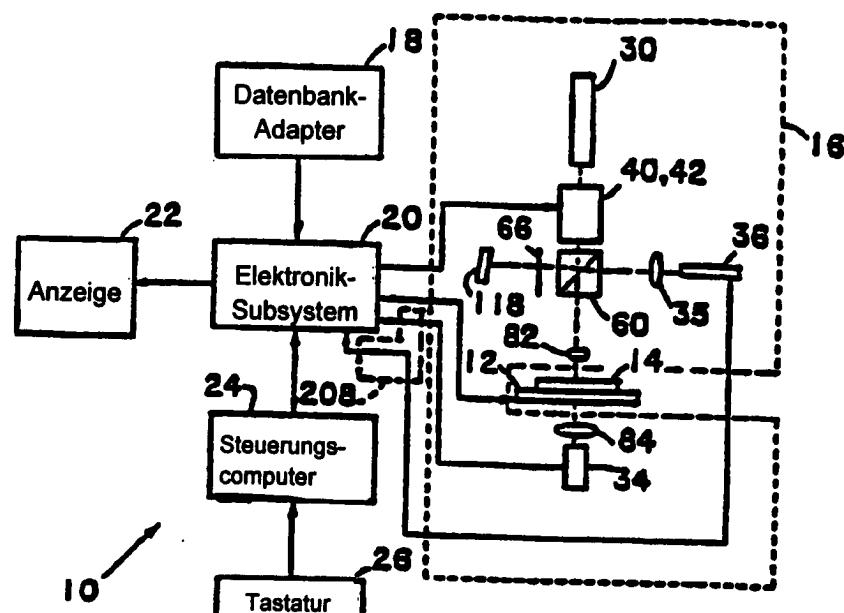


FIG. 1

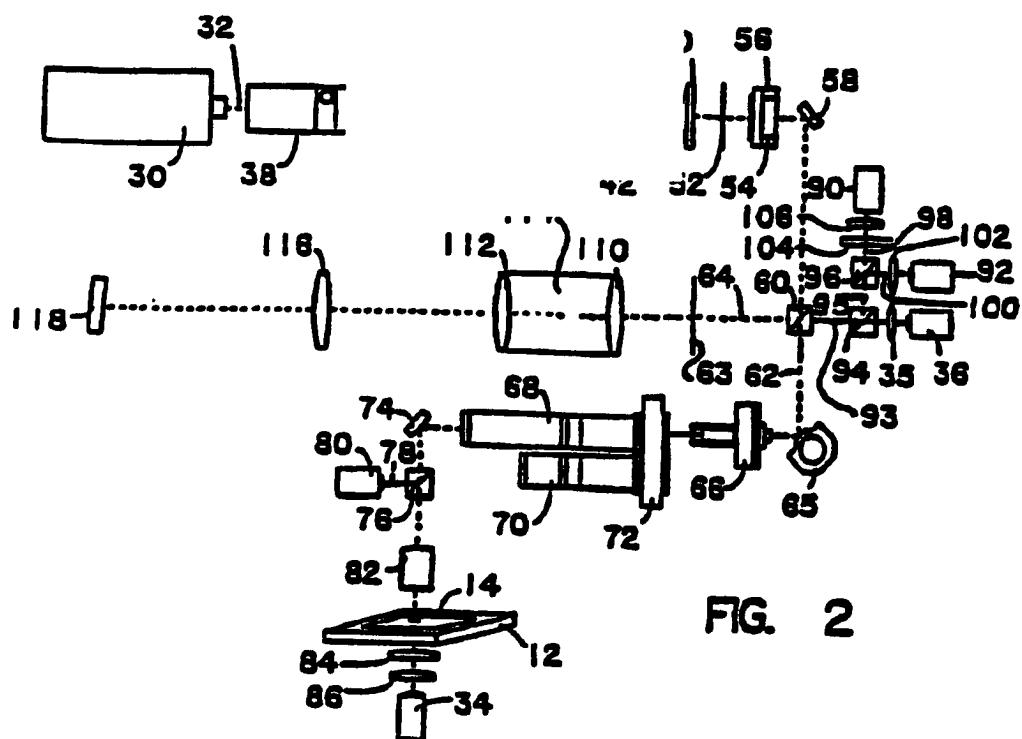


FIG. 2

FIG. 5

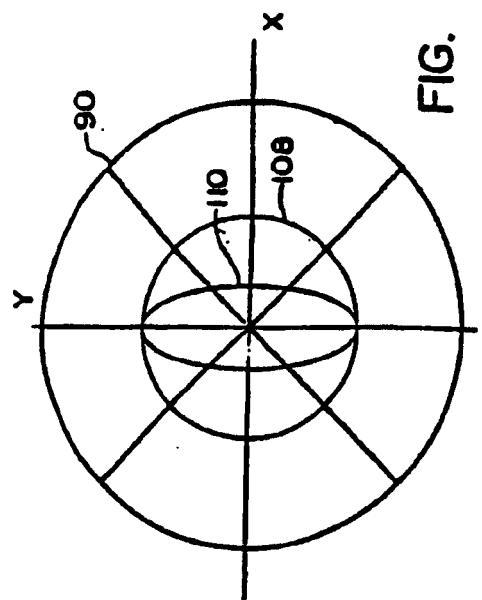


FIG. 6

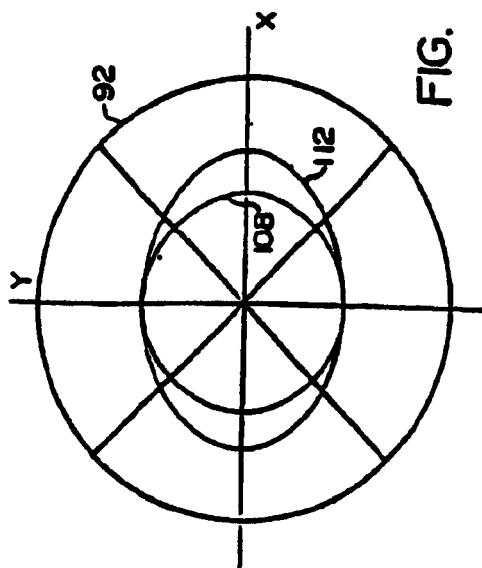


FIG. 4

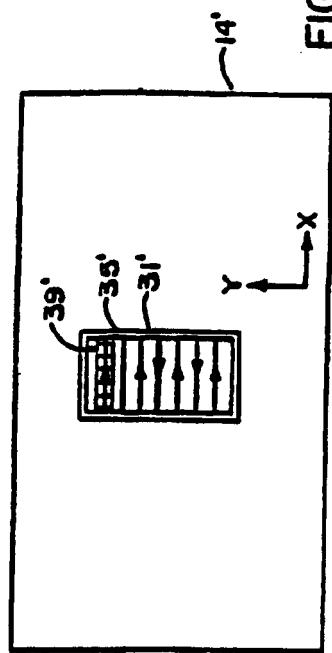
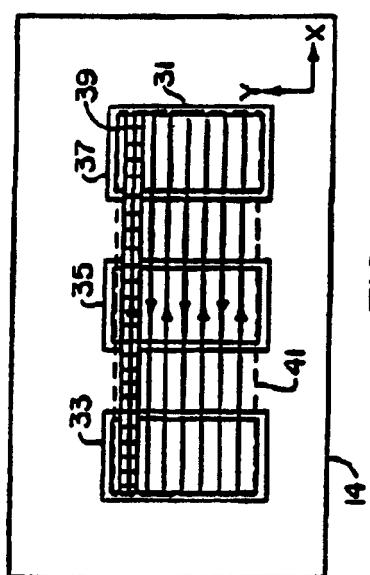


FIG. 3



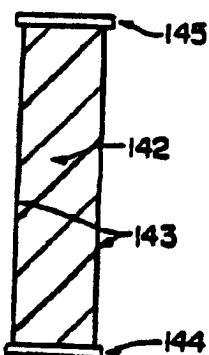
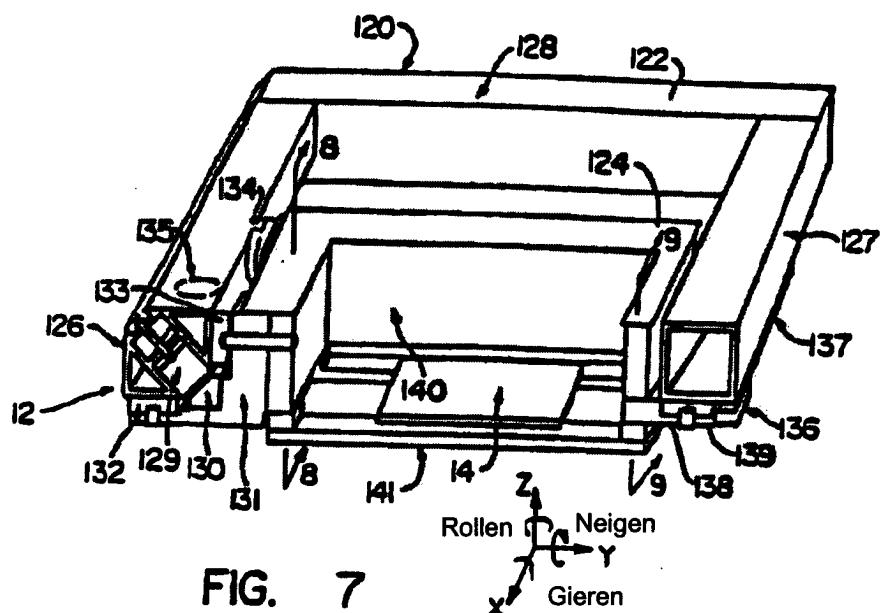


FIG. 8

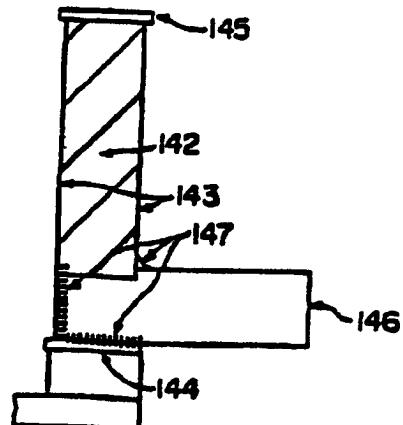


FIG. 9

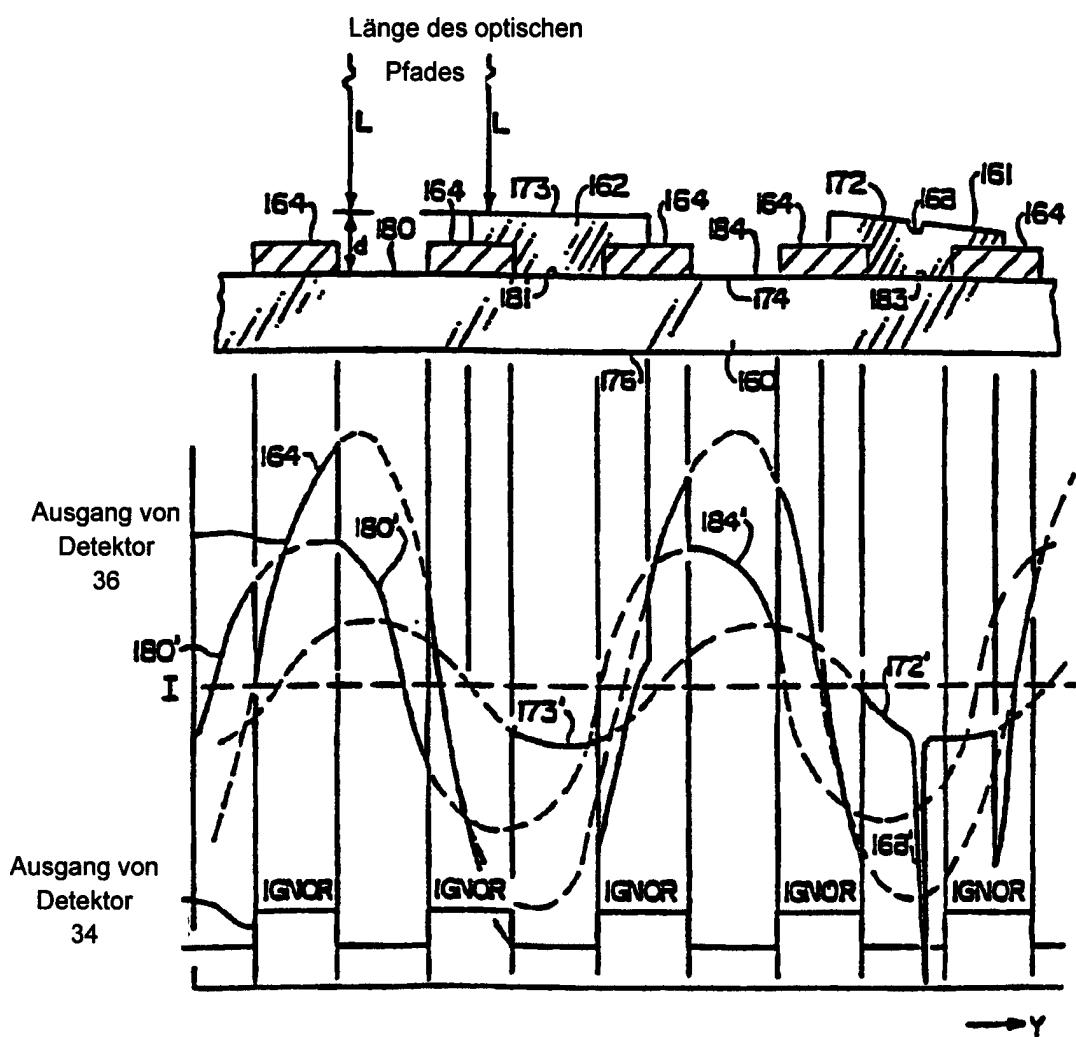
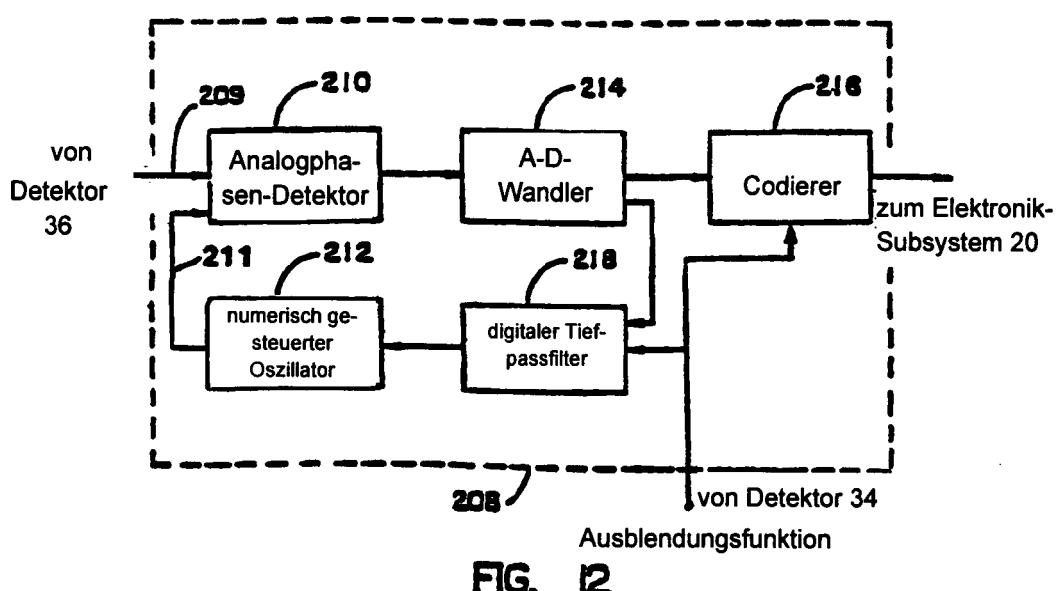
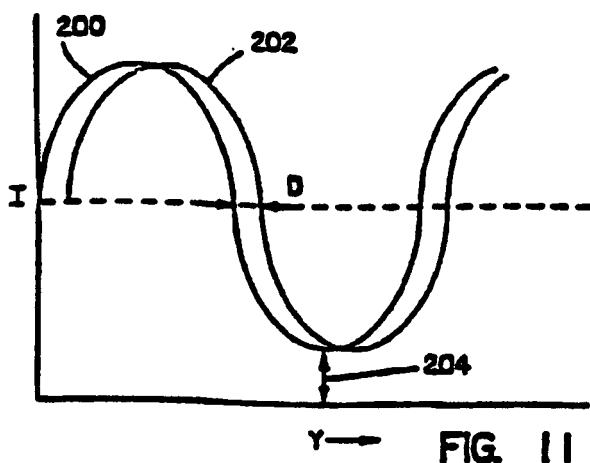


FIG. 10



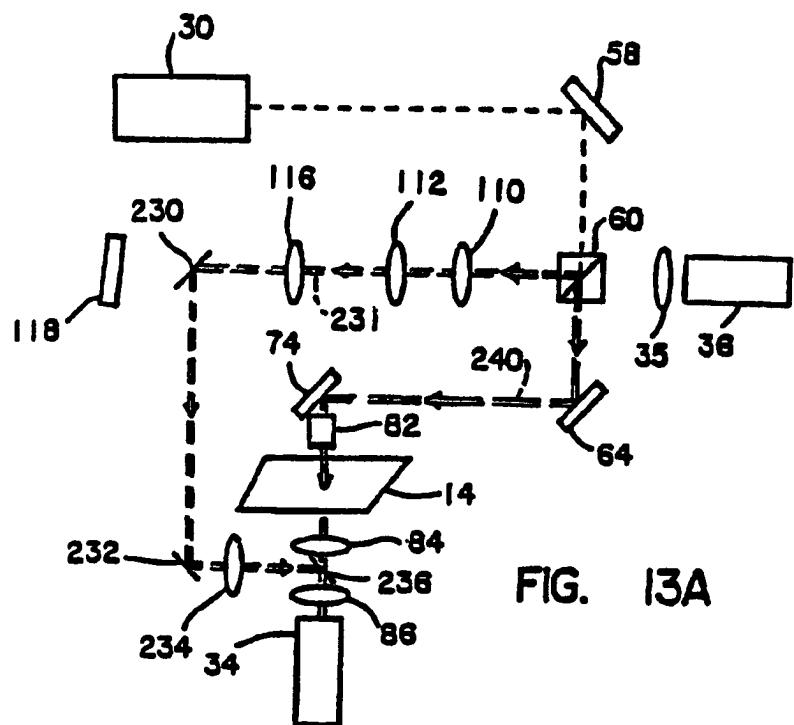


FIG. 13A

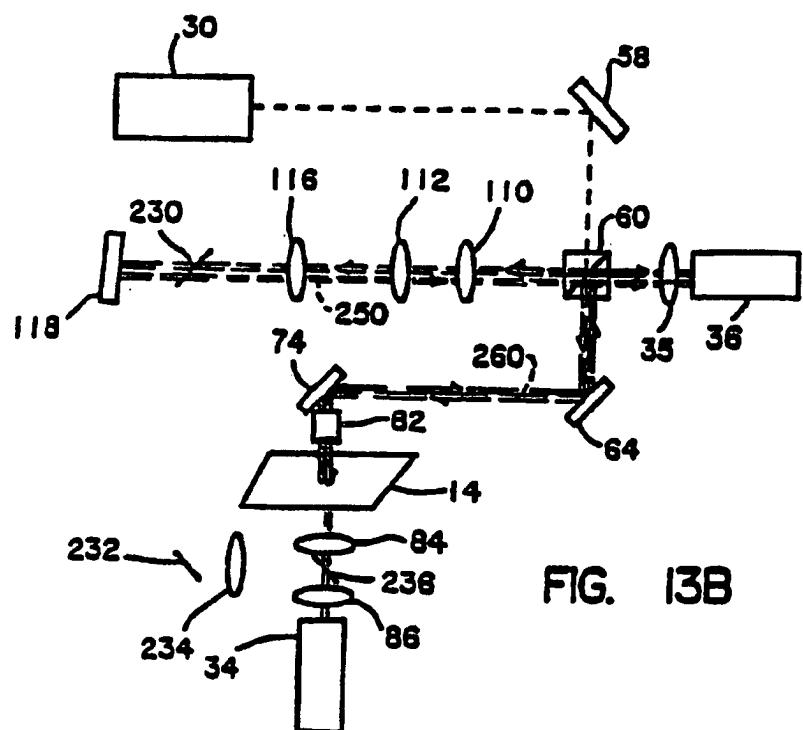
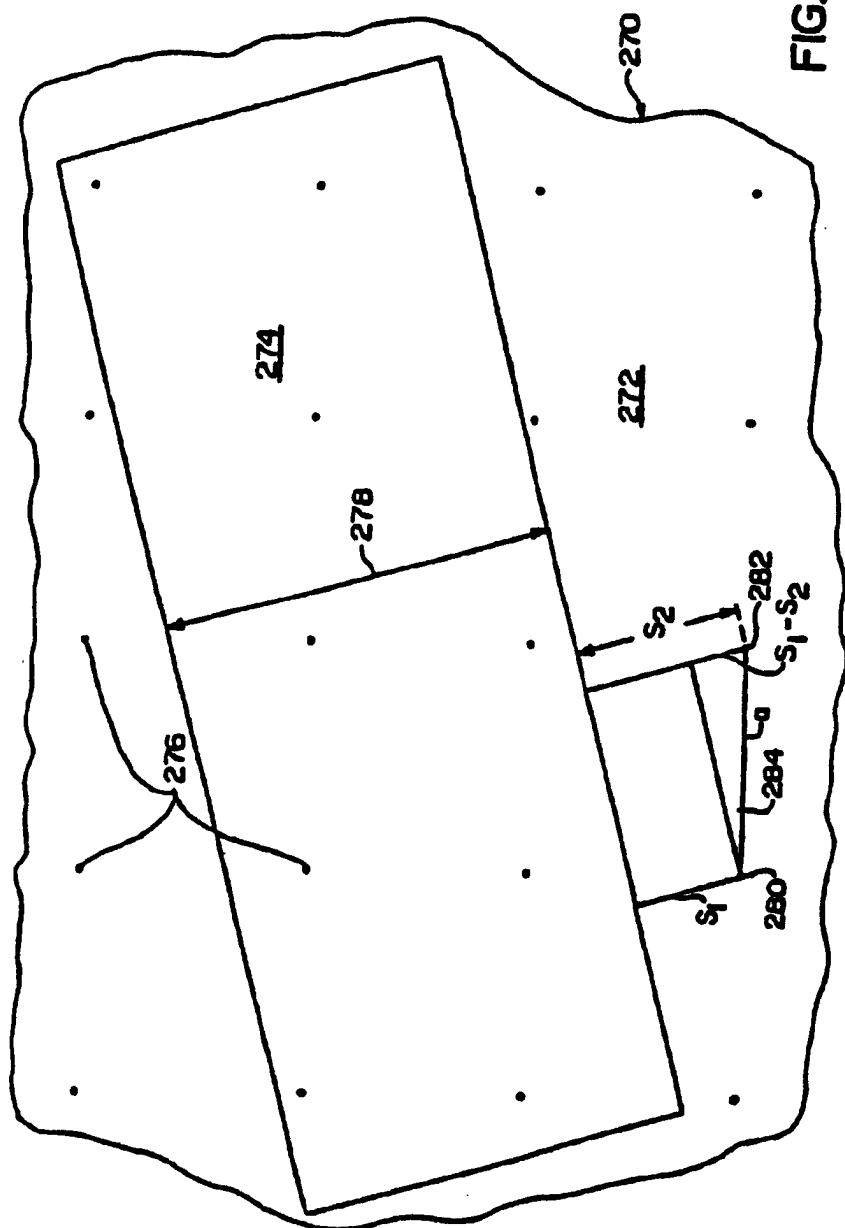
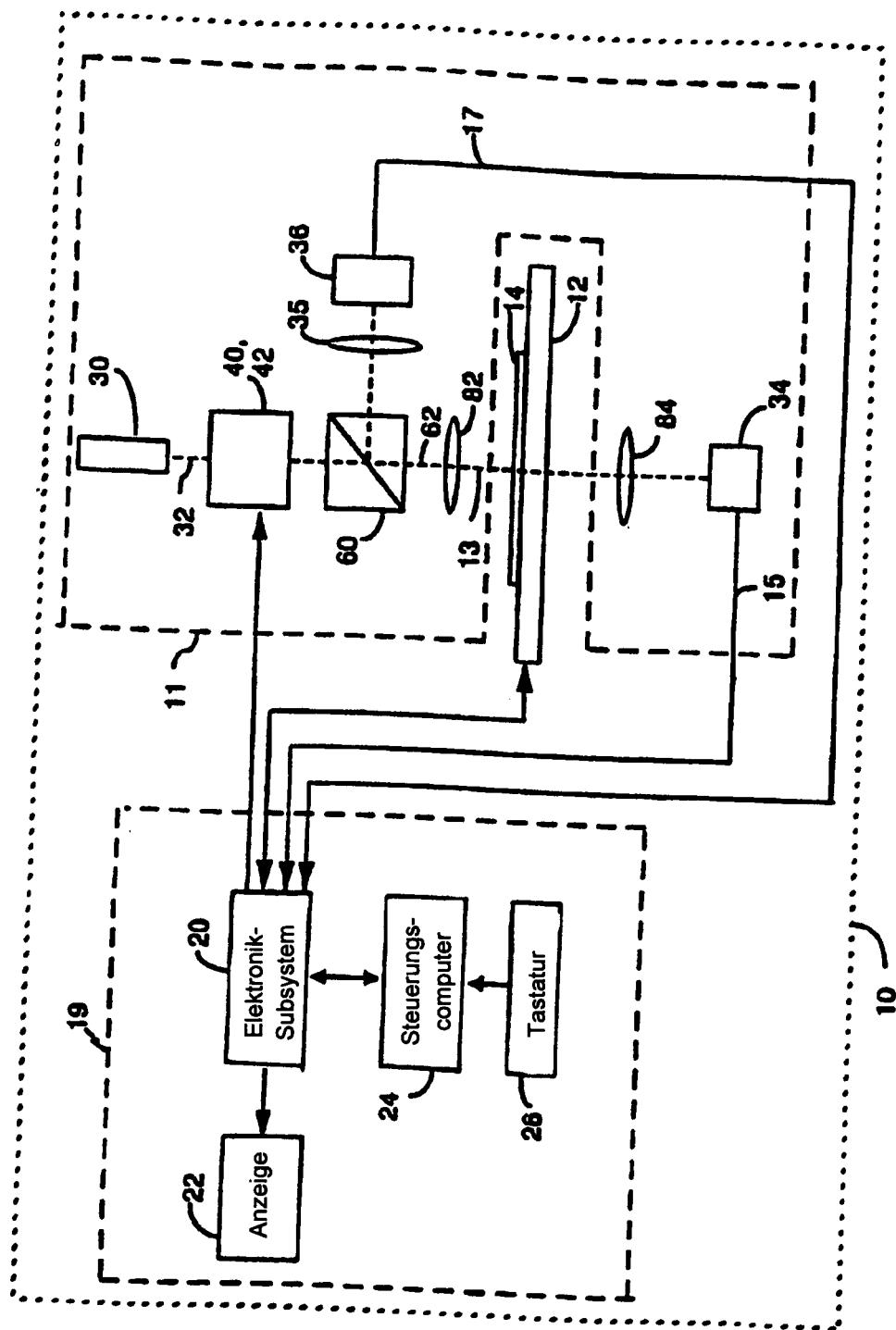


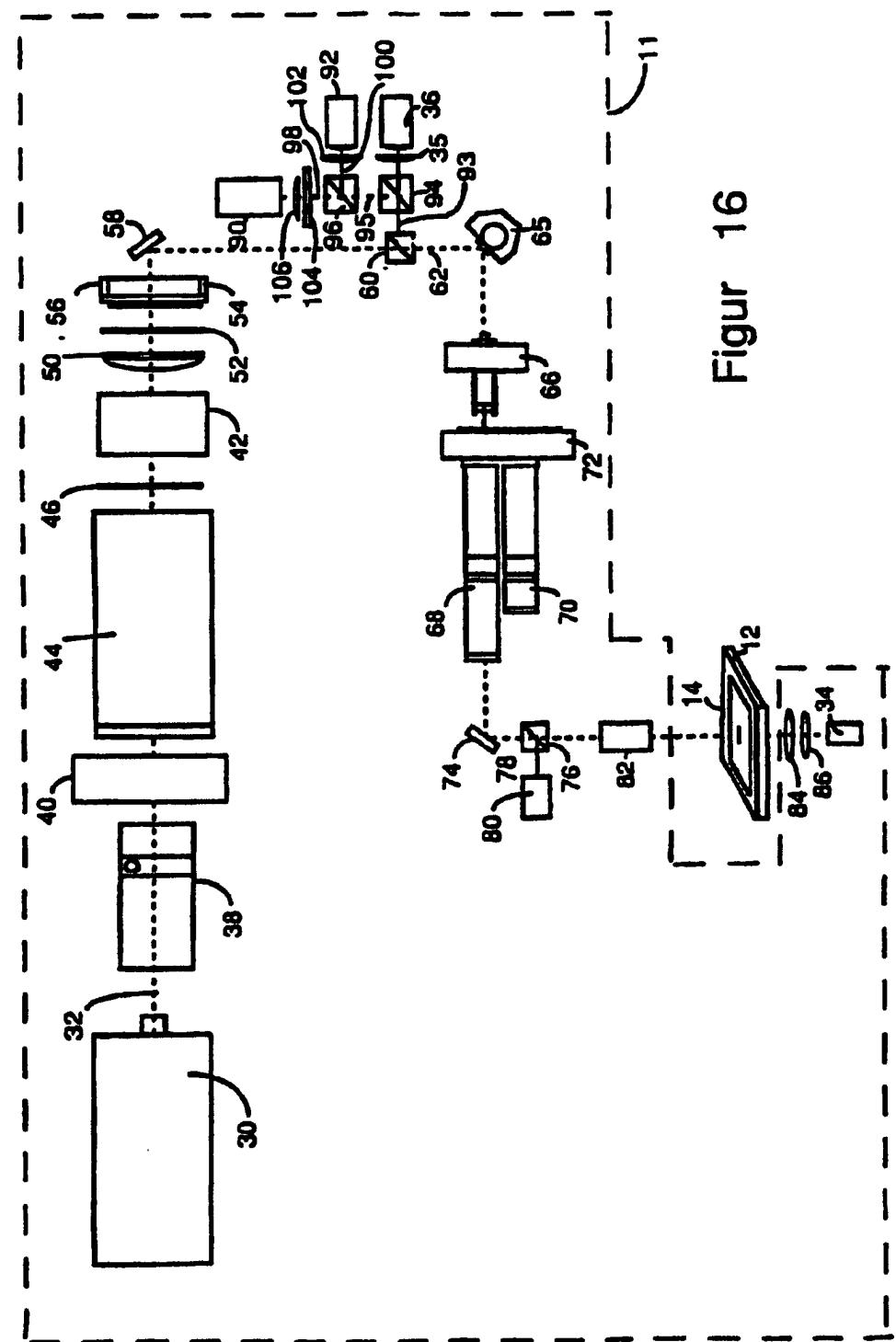
FIG. 13B

FIG. 14

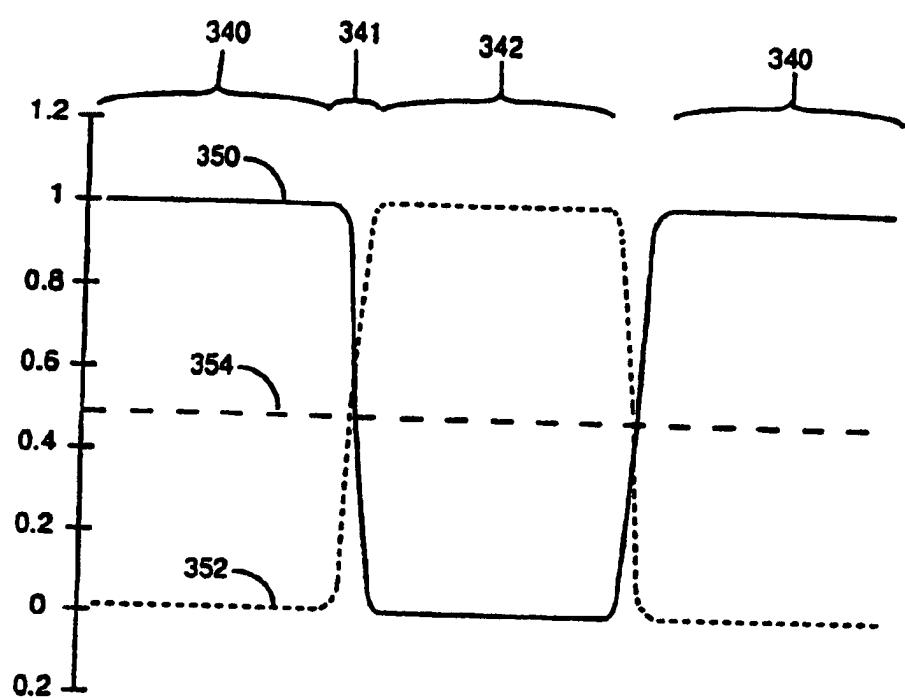




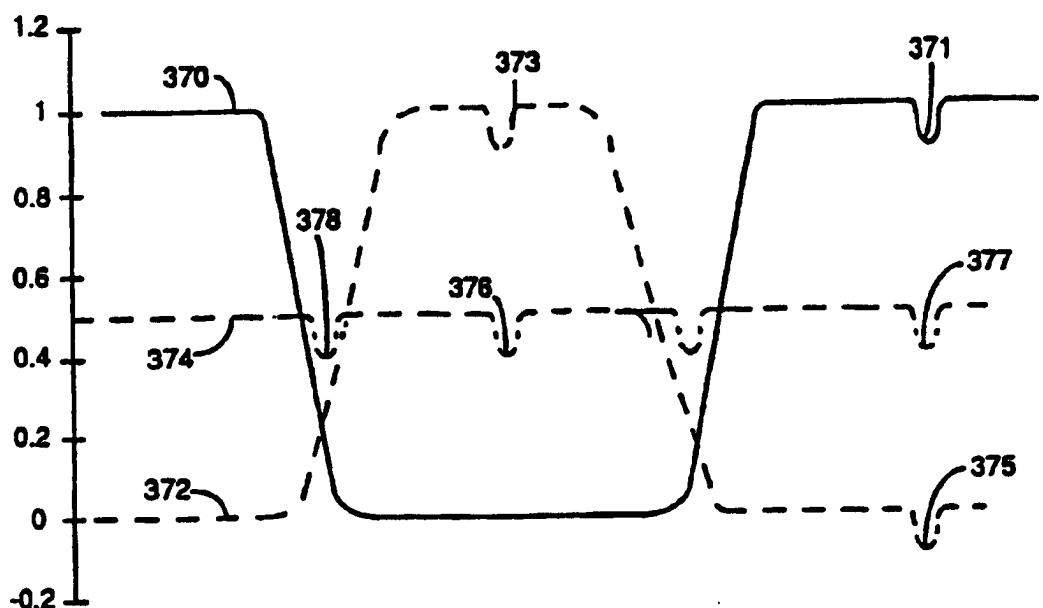
Figur 15



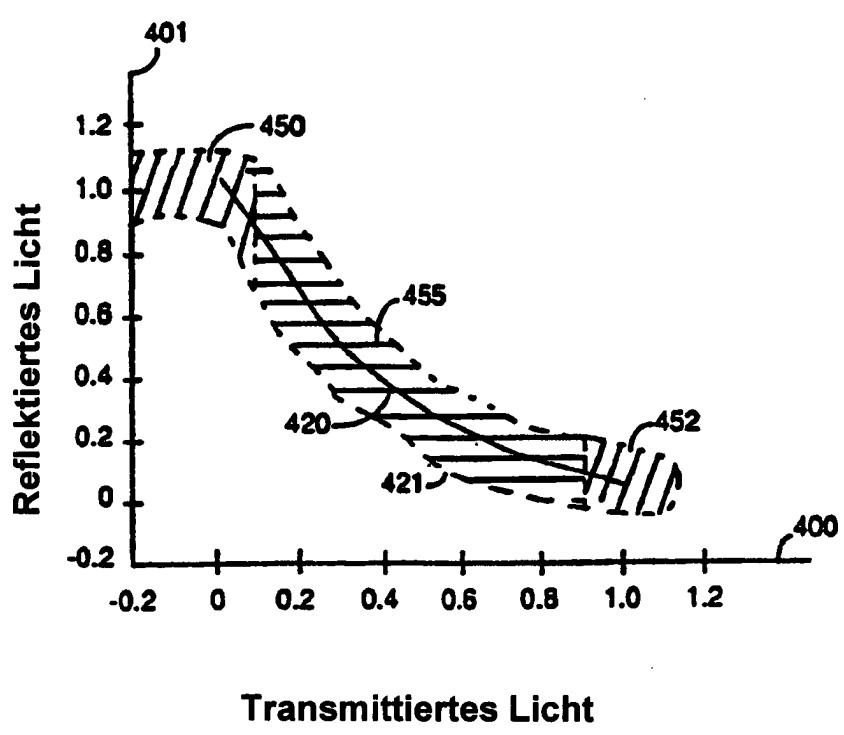
Figur 16

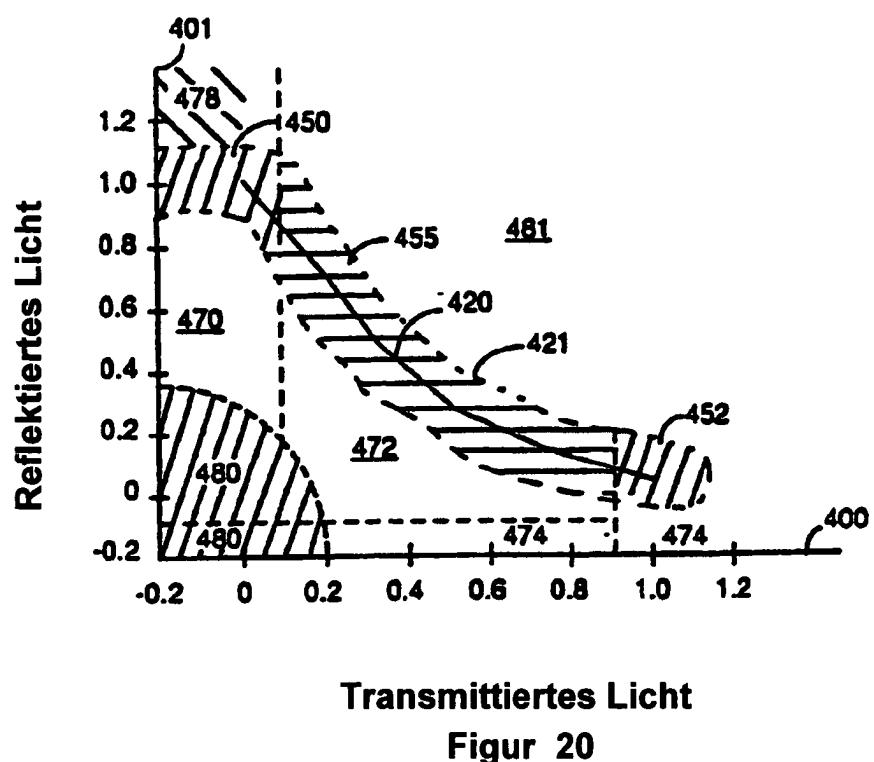


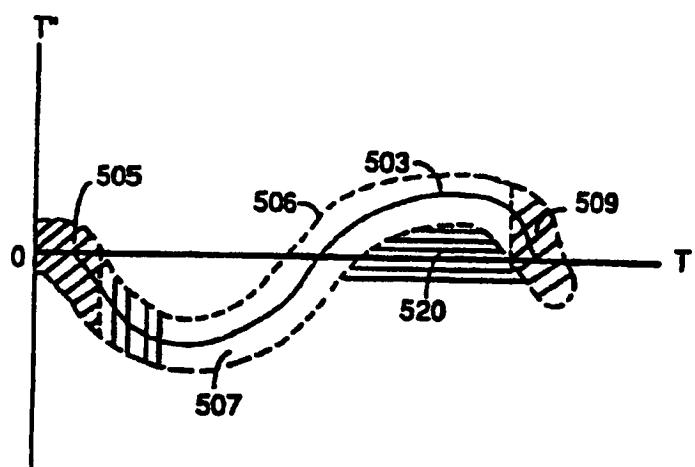
Figur 17



Figur 18







Figur 21

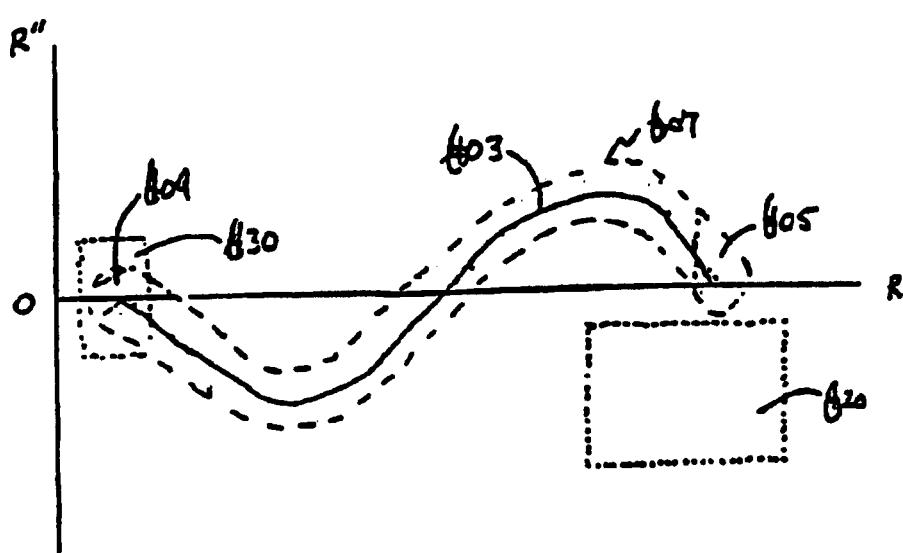


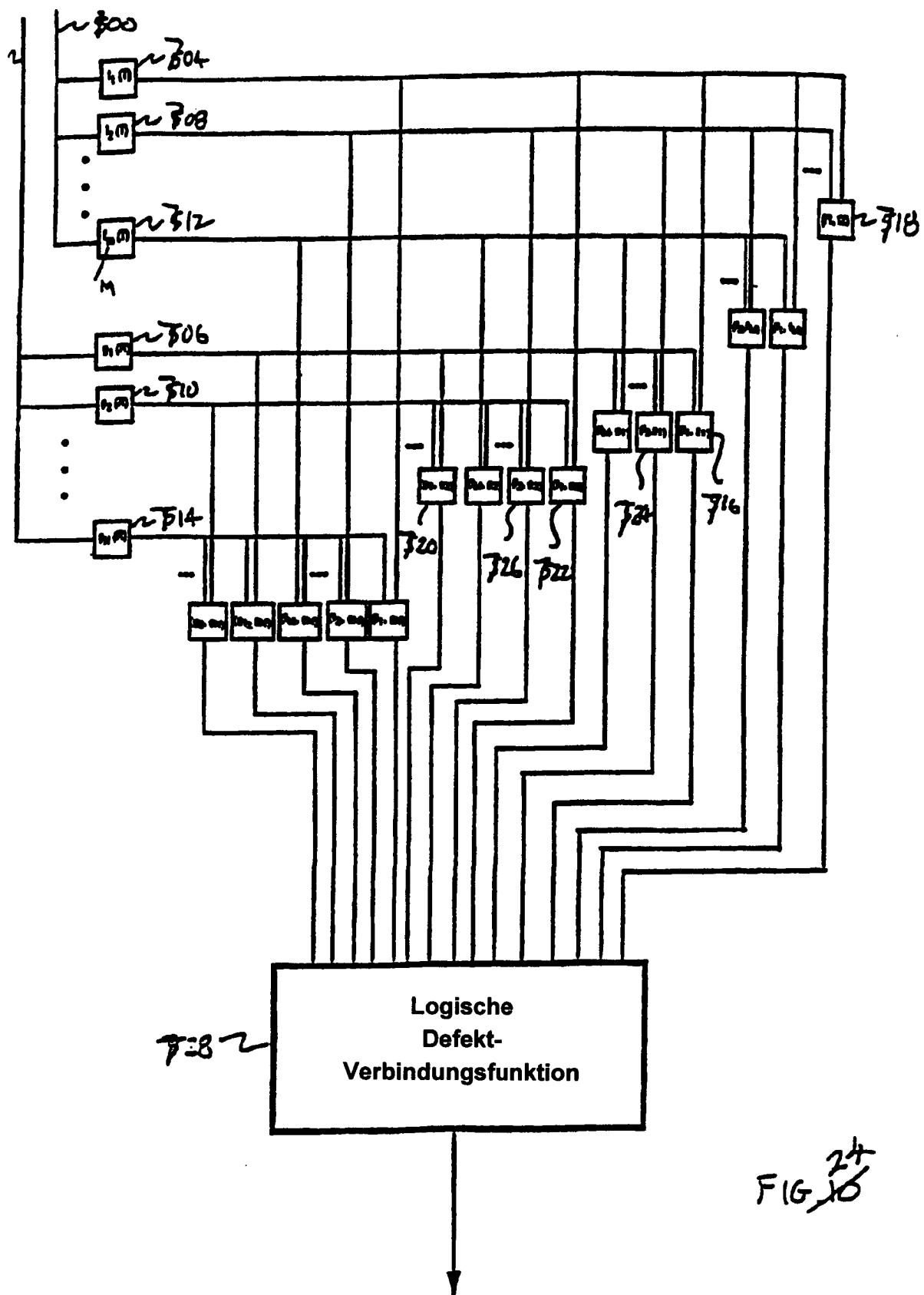
Fig. 8  
22

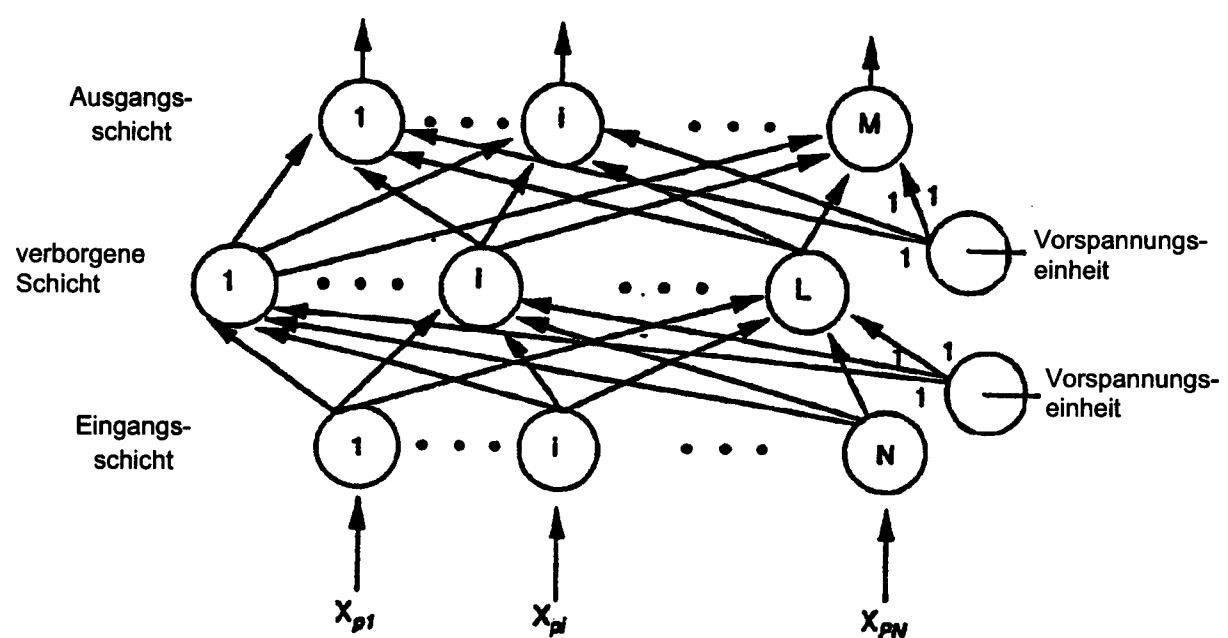
$t_{1,l}$	$\dots$	$\dots$	$t_{1,y+l}$	$t_{1,y+l}$	$\dots$	$\dots$	$t_{1,n+l}$
$t_{2,l}$	$\dots$	$\dots$	$t_{2,y+l}$	$t_{2,y+l}$	$\dots$	$\dots$	$t_{2,n+l}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$t_{x,l}, 1$	$\dots$	$\dots$	$t_{x,y+l}$	$t_{x,y+l}$	$\dots$	$\dots$	$t_{x,n+l}$
$t_{x,l}, 2$	$\dots$	$\dots$	$t_{x,y+l}$	$t_{x,y+l}$	$\dots$	$\dots$	$t_{x,n+l}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$t_{x+l,l}, 1$	$\dots$	$\dots$	$t_{x+l,y+l}$	$t_{x+l,y+l}$	$\dots$	$\dots$	$t_{x+l,n+l}$
$t_{x+l,l}, 2$	$\dots$	$\dots$	$t_{x+l,y+l}$	$t_{x+l,y+l}$	$\dots$	$\dots$	$t_{x+l,n+l}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$t_{m-l,l}$	$\dots$	$\dots$	$t_{m-l,y+l}$	$t_{m-l,y+l}$	$\dots$	$\dots$	$t_{m-l,n+l}$
$t_{m,l}, 1$	$\dots$	$\dots$	$t_{m,y+l}$	$t_{m,y+l}$	$\dots$	$\dots$	$t_{m,n+l}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$

Figur 23A

$f''_{2,2}$	$\dots$	$f''_{2,y-l}$	$f''_{2,y}$	$f''_{2,y+l}$	$\dots$	$f''_{2,y+I}$
$f''_{x,l,2}$	$\dots$	$f''_{x,l,y-l}$	$f''_{x,l,y}$	$f''_{x,l,y+l}$	$\dots$	$f''_{x,l,y+I}$
$f''_{z,l,2}$	$\dots$	$f''_{z,l,y-l}$	$f''_{z,l,y}$	$f''_{z,l,y+l}$	$\dots$	$f''_{z,l,y+I}$
$f''_{x+y,l,2}$	$\dots$	$f''_{x+y,l,y-l}$	$f''_{x+y,l,y}$	$f''_{x+y,l,y+l}$	$\dots$	$f''_{x+y,l,y+I}$
$f''_{m-l,2}$	$\dots$	$f''_{m-l,y-l}$	$f''_{m-l,y}$	$f''_{m-l,y+l}$	$\dots$	$f''_{m-l,y+I}$

Figure 23B





Figur 25