



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 697 34 504 T2** 2006.08.03

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 0 877 914 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **697 34 504.1**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US97/00853**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **97 904 812.1**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 1997/028421**

(86) PCT-Anmeldetag: **15.01.1997**

(87) Veröffentlichungstag

der PCT-Anmeldung: **07.08.1997**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **18.11.1998**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **02.11.2005**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **03.08.2006**

(51) Int Cl.⁸: **G01B 11/24** (2006.01)
G01B 9/00 (2006.01)

(30) Unionspriorität:

593095 29.01.1996 US

(73) Patentinhaber:

**Ismeca Europe Semiconductor SA, La
Chaux-de-Fonds, CH**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LI,
LU, MC, NL, PT, SE**

(72) Erfinder:

BIEMAN, H., Leonard, Farmington Hills, US

(74) Vertreter:

Strehl, Schübel-Hopf & Partner, 80538 München

(54) Bezeichnung: **VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUM MESSEN DER STREIFENPHASE IN DER ABBILDUNG EINER OBJEKTS**

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 eingelegt, 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

[0001] Die Erfindung betrifft nichtinvasive Messverfahren und Messsysteme, und insbesondere betrifft sie scannende Phasenmessverfahren und -systeme für ein Objekt.

[0002] Die Höhenverteilung einer Oberfläche kann dadurch erhalten werden, dass ein Lichtstreifenmuster auf die Oberfläche projiziert wird und dann das auf der Oberfläche erscheinende Lichtmuster wieder abgebildet wird. Eine leistungsfähige Technik zum Entnehmen dieser Information auf Grundlage des Aufnehmens mehrerer Bilder (drei oder mehr) des auf der Oberfläche erscheinenden Lichtmusters, während die Position (Phase) des projizierten, streifenförmigen Lichtmusters verschoben wird, wird als Phasenverschiebungsinterferometrie bezeichnet, wie sie in den US-Patenten Nr. 4,641,972 und 4,212,073 offenbart ist.

[0003] Die mehreren Bilder werden im Allgemeinen unter Verwendung einer CCD-Videokamera aufgenommen, wobei die Bilder digitalisiert und an einen Computer übertragen werden, wo eine Phasenverschiebungsanalyse auf Grundlage von als "Transporteur" verwendeten Bildern die Information in eine Konturkarte der Oberfläche wandelt.

[0004] Die zum Erhalten der mehreren Bilder verwendeten Techniken beruhen auf Verfahren, die die Kamera und die betrachtete Oberfläche in Bezug zueinander stationär halten und das projizierte Muster bewegen.

[0005] Eine Technik zum Erfassen nur eines Transporteurbilds unter Verwendung einer scannenden Zeilenkamera ist im Patent Nr. 4,965,665 beschrieben, jedoch steht nicht ausreichend Information zur Verfügung, um eine Phasenberechnung auf Grundlage mehrerer Transporteure auszuführen.

[0006] Zu anderen US-Patenten, die Phasenverschiebung angeben, gehören die folgenden US-Patente: Nr. 5,202,749 für Pfister; 4,794,550 für Greivenkamp, Jr.; 5,069,548 für Boehnlein und 5,307,152 für Boehnlein et al.

[0007] Die US-Patente Nr. 5,398,113 und 5,355,221 offenbaren Weißlicht-Interferometriesysteme, die ein Profil von Oberflächen von Objekten erstellen.

[0008] In der oben genannten Anmeldung ist ein optisches Messsystem offenbart, das über eine Lichtquelle, Gitter, Linsen und eine Kamera verfügt. Eine mechanische Verschiebevorrichtung verstellt eines der Gitter in einer Ebene parallel zu einer Referenzfläche, um für eine Phasenverschiebung eines projizierten Bilds des Gitters auf der zu messenden konturierten Oberfläche zu sorgen. Eine zweite mechani-

sche Verschiebevorrichtung verstellt eine der Linsen, um für eine Änderung des Konturintervalls zu sorgen. Es wird eine Phase der Punkte auf der konturierten Oberfläche, mittels eines Algorithmus mit vier Transporteuren, mit einem ersten Konturintervall erfasst. Eine zweite Phase der Punkte wird mit einem zweiten Konturintervall erfasst. Ein Steuerungssystem, mit einem Computer, ermittelt einen groben Messwert unter Verwendung der Differenz zwischen der ersten und der zweiten Phase. Das Steuerungssystem ermittelt ferner einen feinen Messwert unter Verwendung entweder der ersten oder der zweiten Phase. Es wird die Auslenkung oder der Abstand, bezogen auf die Referenzebene, für jeden Punkt mittels des Steuerungssystems unter Verwendung des feinen und des groben Messwerts ermittelt.

[0009] Gemäß der Erfindung ist ein Verfahren zur scannenden Hochgeschwindigkeitsmessung eines Objekts geschaffen, wie es im Anspruch 1 dargelegt ist.

[0010] Durch die Erfindung ist auch ein System zur scannenden Hochgeschwindigkeitsmessung eines Objekts geschaffen, wie es im Anspruch 16 dargelegt ist.

[0011] Ferner ist durch die Erfindung ein Optikkopf geschaffen, wie er im Anspruch 31 dargelegt ist.

[0012] Durch eine Ausführungsform sind ein Verfahren und ein System mit einem Optikkopf zum Ausführen einer optischen Phasenmessung eines betrachteten Objekts zum Erzeugen eines Bilds, dessen Intensität als Funktion der Position relativ zum Optikkopf variiert, geschaffen, wobei das System so konfiguriert ist, dass es mehrere Bilder mit verschiedener Phaseninformation, wenn das betrachtete Objekt in einer Richtung orthogonal zum Abbildungssystem verstellt wird, ermöglicht, wobei diese mehreren Bilder dazu verwendet werden, ein Phasenbild zu berechnen, das proportional zum die Phasenänderung erzeugenden optischen Effekt ist.

[0013] Durch eine Ausführung sind ein Verfahren und ein System mit einem Optikkopf zum Ausführen einer Phasenmessung abbildbarer elektromagnetischer Strahlung, wie sie zu einem linearen Mehrzeilendetektorarray zurückkehrt, durch Einstellen der Optik im Optikkopf auf solche Weise, dass auf jede Zeile des Detektorarrays ein anderer Phasenwert abgebildet wird, so dass jede Zeile des Detektorarrays ein Bild mit einem anderen optischen Phasenwert für denselben Punkt auf dem abgebildeten Objekt erzeugt, geschaffen.

[0014] Durch eine Ausführungsform sind ein Verfahren und ein System mit einem Optikkopf zum Scannen der Höhe einer Oberfläche geschaffen, wobei der Optikkopf über einen Lichtstreifenprojektor und

ein Abbildungssystem verfügt, wobei sich das projizierte Muster nicht relativ zum Abbildungssystem bewegt und der Optikkopf auf solche Weise konfiguriert ist, dass er mehrere Bilder mit verschiedener Phaseninformation ermöglicht, wenn die Oberfläche in Bezug auf das Abbildungssystem verstellt wird, und wobei diese mehreren Bilder dazu verwendet werden, ein Phasenbild zu berechnen, das proportional zur Höhe der gescannten Oberfläche ist.

[0015] Durch eine Ausführungsform ist ein Verfahren zur scannenden Hochgeschwindigkeits-Phasenmessung eines Objekts an einer Betrachtungsstation zum Entwickeln physikalischer Information in Zusammenhang mit dem Objekt geschaffen. Das Verfahren beinhaltet die Schritte des Projizierens eines Musters abbildbarer, elektromagnetischer Strahlung durch mindestens einen Projektor und des Verstellens des Objekts relativ zum mindestens einen Projektor an der Betrachtungsstation zum Scannen des projizierten Musters der elektromagnetischen Strahlung über eine Oberfläche des Objekts, um ein Signal der abbildbaren, elektromagnetischen Strahlung zu erzeugen. Das Verfahren beinhaltet auch die Schritte des Empfangens des Signals der abbildbaren, elektromagnetischen Strahlung von der Oberfläche des Objekts durch einen Detektor mit mehreren separaten Detektorelementen und des Festhaltens des mindestens einen Projektors und des Detektors in fester Beziehung zueinander. Schließlich beinhaltet das Verfahren die Schritte des Messens der Menge der Strahlungsenergie im Signal der empfangenen elektromagnetischen Strahlung, wobei die Detektorelemente Bilder mit verschiedenen Phasen für dieselbe gescannte Oberfläche auf Grundlage der Messung erzeugen und Phasenwerte und Amplitudenwerte für die verschiedenen Phasen aus den Bildern berechnen.

[0016] Bei einer Ausführungsform ist die abbildbare, elektromagnetische Strahlung polarisiert, das Ansprechverhalten der Detektorelemente ist polarisationsempfindlich, und die Bilder beruhen auf einer Polarisation von der Oberfläche.

[0017] [Fig. 1](#) ist eine schematische Ansicht eines Maschinenbildaufnahmesystems mit einem Optikkopf gemäß einer Ausführungsform;

[0018] [Fig. 2](#) ist eine schematische Ansicht zum Veranschaulichen von Einzelheiten einer ersten Ausführungsform des Optikkopfs der [Fig. 1](#);

[0019] [Fig. 3](#) ist eine schematische Ansicht zum Veranschaulichen einer zweiten Ausführungsform des Optikkopfs der [Fig. 1](#), wobei auf der Abbildungsseite ein Gitter eingesetzt ist, um ein optisches Moirémuster zu erzeugen; und

[0020] [Fig. 4](#) ist eine schematische Ansicht zum

Veranschaulichen einer anderen Ausführungsform der Erfindung, bei der ein Muster polarisierter elektromagnetischer Strahlung projiziert wird.

[0021] Es wird nun auf die [Fig. 1](#) Bezug genommen, in der schematisch ein Maschinen-Bildaufnahmesystem dargestellt ist, das allgemein mit **10** gekennzeichnet ist und das über einen, allgemein mit **12** gekennzeichneten, Optikkopf verfügt.

[0022] Das Verfahren und das System **10** dieser Ausführungsform sind für eine scannende Hochgeschwindigkeits-Phasenmessung eines Objekts **14** an einer Betrachtungsstation **16** entwickelt, um Dimensionsinformation wie Höheninformation für eine Oberfläche **18** des Objekts **14** zu entwickeln. Das Objekt **14** bewegt sich relativ zum Optikkopf **12**, wie es durch einen Pfeil **20** gekennzeichnet ist.

[0023] Allgemein betrifft die Ausführungsform die nicht-invasive, dreidimensionale Messung von Oberflächenkonturen unter Verwendung einer Technologie wie der Moirétechnologie, mit einer neuen Vorgehensweise, die ein kontinuierliches Scannen einer Oberfläche ermöglicht. Eine allgemeinere Anwendung dieser Vorgehensweise erlaubt die Messung anderer optischer Parameter durch dieselbe Scan-Vorgehensweise, jedoch mit einer anderen optischen Konfiguration.

[0024] Das Maschinen-Bildaufnahmesystem **10** verfügt typischerweise über einen Bilddigitalisierer/Framegrabber **22**, der elektrisch mit dem Optikkopf **12** verbunden ist. Der Bilddigitalisierer/Framegrabber **22** führt eine Abtastung und Digitalisierung eingegebener Bilder von einer Bildquelle wie einer im Optikkopf **12** enthaltenen Kamera aus, wie es hier weiter unten detailliert beschrieben wird. Der Framegrabber **22** platziert jedes Eingangsbild in einen Rahmenpuffer mit Bildelementen. Jedes der Bildelemente kann aus einer 8-Bit-Zahl bestehen, um die Helligkeit dieses Punkts im Bild zu repräsentieren.

[0025] Das System **10** verfügt auch über einen Systembus **26**, der Information vom Bilddigitalisierer/Framegrabber **22** empfängt und diese an einen IBM-kompatiblen Hostcomputer, wie einen Pentium PC **28**, weiterleitet.

[0026] Das System **10** kann über Eingangs/Ausgangs-Schaltkreise **30** verfügen, die es ihm ermöglichen, mit einem oder mehreren externen Peripheriegeräten zu kommunizieren, wie einem Antrieb **31** oder Robotern, programmierbaren Steuerungen usw., die über eine oder mehrere Stufen verfügen. Der Antrieb **31** sorgt für eine relativ gleichmäßige und kontinuierliche Bewegung zwischen dem Objekt **14** und dem Kopf **12**. Die I/O-Schaltkreise **30** können eine Stepperplatine für drei Achsen unterstützen (d.h. eine Steuerung für mehrere Achsen unterstüt-

zen), oder sie können andere Bewegungsplatinen unterstützen.

[0027] Wie es in der [Fig. 2](#) dargestellt ist, verfügt eine Kamera des Optikkopfs **12** vorzugsweise über einen Festkörper-Bildsensor, wie eine Kamera **24** mit trilinearem Array. Z.B. ist die Kamera **24** das Kodak-Modell KLI-2103 mit einem CCD-Chip mit drei Detektorzeilen oder Sensorelementen **25** mit jeweils 2.098 CCD-Sensorelementen pro Zeile. Alle Zeilen sind körperlich mit einem Abstand separiert, der acht Pixelelementen entspricht. Die Kamera **24** wurde ursprünglich zum Farbscannen mit einer jeweiligen Maske für die Farbe Rot, Grün bzw. Blau über jedes Element entwickelt. Bei der vorliegenden Ausführungsformen werden die Masken nicht verwendet sondern vielmehr weggelassen.

[0028] Der Systembus **26** kann entweder ein PCI-, ein EISA-, ein ISA- oder ein VL-Bussystem oder irgendein anderer Standardbus sein.

[0029] Der Bilddigitalisierer/Framegrabber **22** kann eine herkömmliche Farb-Framegrabberplatine für drei Kanäle sein, wie sie von Imaging Technologies oder von anderen Framegrabber-Herstellern hergestellt wird. Alternativ kann der Bilddigitalisierer/Framegrabber **22** über eine Bildaufnahme Prozessorplatine, wie sie von Cognex hergestellt wird, verfügen.

[0030] Das Maschinen-Bildaufnahmesystem **10** kann mit einer Massenspeichereinheit **32** so programmiert werden, dass es Programme zur Bildverarbeitung und/oder Bildanalyse enthält, wie es nachfolgend detaillierter beschrieben ist.

[0031] Es ist auch Monitor **34** vorhanden, um Bilder anzuzeigen.

[0032] Es wird erneut auf die [Fig. 2](#) Bezug genommen, gemäß der mehrere Bilder mit verschiedenen Phasen dadurch erhalten werden, dass die Oberfläche **18** des Objekts **14** verstellt wird, während ein durch einen Lichtstreifenprozessor **38** projiziertes Muster **36** und die Kamera **24** innerhalb des Optikkopfs **12** stationär zueinander gehalten werden. Der Optikkopf **12** (d.h., wenn das System **10** ein scannendes Moirésystem ist) verfügt über keinen mechanischen oder optischen Mechanismus, der die Position des projizierten Musters **36** ändern würde. Um mehrere Phasenbilder zu erzielen, existiert eine Relativbewegung zwischen dem Optikkopf **12** und der gemessenen Oberfläche **18**.

[0033] Obwohl das Aufnehmen von Bildern bei einer Bewegung in irgendeiner Richtung zur Fähigkeit führen könnte, Phasenverschiebungen zu erzielen, werden hier nur zwei Spezialfälle erörtert. Der erste Fall entspricht einer Bewegung des Objekts **14** in einer Richtung **20** orthogonal zu einer optischen Achse ei-

ner Linse **40** der Kamera **24**, um dadurch ein Kamerabild zu erzeugen. Der zweite Fall entspricht einer Bewegung des Objekts **14** in einer Richtung parallel zur optischen Achse der Linse **40**, um dadurch ein zweites Kamerabild zu erzeugen.

[0034] Wie beim Scannen mit einem linearen CCD-Array wird das Objekt **14** in der Richtung **20** bewegt, die sowohl orthogonal zur optischen Achse der Linse **40** der Lineararraykamera als auch zur Linie von Pixeln in dieser Lineararraykamera **24** ist. Demgemäß wird, da die Lineararraykamera **24** zeilenweise ausgelesen wird, das Bild des sich vorbeibewegenden Objekts **14** zeilenweise erzeugt.

[0035] Wenn die Kamera **24** mit trilinearem Array zum Scannen verwendet wird, werden drei Bilder der gescannten Oberfläche **18** erzeugt, wobei jedes Bild um eine bestimmte Anzahl von Zeilen versetzt ist. Dieser Versatz ist eine Funktion des Abstands zwischen den Arrays und der Rate, mit der das Bild der Oberfläche **18** an den Sensorelementen **25** vorbeibewegt wird.

[0036] Das Konzept der scannenden Phasenmessung bei der vorliegenden Ausführungsform ist analog zur Farberfassung durch das oben genannte trilineare Farbarray, mit der Ausnahme, dass die FarbfILTER nicht vorhanden sind und jede der drei Scanzeilen eine andere Phasen des projizierten Lichtmusters anstelle der Farbe misst.

[0037] Hinsichtlich der Phasenverschiebungstechnologie misst jede Scanzeile einen anderen "Transporteur" und im Computer **28** wird ein Algorithmus mit drei "Transporteuren" verwendet, um die Phase des projizierten Lichtmusters zu messen, wobei diese Phase proportional zur Oberflächen Höhe des gescannten Objekts ist.

[0038] Bevor aus den Ablesewerten für jede der Scanzeilen die Phase berechnet wird, werden die drei gescannten Bilder so ausgerichtet, dass die Phaseninformation von jedem der drei Transporteure für denselben Punkt der gescannten Oberfläche gilt. Die Korrektur der Registrierung und die Berechnung der Phase könnten kontinuierlich sein, wenn die Elektronik diesem Betriebsmodus genügen kann.

[0039] Wie oben beschrieben, werden drei Scanzeilen verwendet. Jedoch existiert kein Grund, dass nicht mehr Scanzeilen verwendet werden könnten, um die Anzahl der bei der Phasenberechnung verwendeten Transporteure zu erhöhen oder um mehr als eine Scanzeile für einen Transporteur zu mitteln. Wenn beispielsweise 16 Scanzeilen vorliegen würden, könnte die Summe der Zeilen 1 bis 4 für den Transporteur 1 verwendet werden, die Summe der Zeilen 5 bis 8 könnte für den Transporteur 2 verwendet werden, die Summe der Zeile 9 bis 12 könnte für

den Transporteur 3 verwendet werden, und die Summe der Zeilen 13 bis 16 könnte für den Transporteur 4 verwendet werden.

[0040] Beim für das Obige geltenden Fall 2 würde am wahrscheinlichsten ein CCD-Flächenarray im Optikkopf 12 verwendet werden, jedoch könnte ein Lineararray- oder Einzelpunkt-Fotodetektor verwendet werden. In diesem Fall werden, wenn die Oberfläche 18 zum Optikkopf 12 hin oder von ihm weg bewegt wird, Bilder aufgenommen, während sich die Phase der Projektion ändert. Die Analyse würde aus einer Ausrichtungskorrektur zwischen Bildern mit anschließendem Verwenden der Bilder zum Erzeugen der für die Phasenberechnung benötigten Transporteure bestehen. Wenn die Kamera telezentrisch oder nahezu telezentrisch abbildet, wäre keine Ausrichtung erforderlich.

[0041] Systeme unter Verwendung des Aufbaus gemäß dem Fall 2 wurden zur Verwendung in Weißlicht-Interferometriesystemen beschrieben, wie in den US-Patenten Nr. 5,398,113 und 5,355,221, jedoch nicht für Moiré(Lichtstreifen)anwendungen.

[0042] Obwohl oben ein Verfahren zum Ausführen von Phasenberechnungen auf Grundlage eines Moiré(Lichtstreifen)systems beschrieben ist, könnte die beschriebene Technik auch bei jedem beliebigen Effekt auf optischer Grundlage angewandt werden, bei dem sich die Phase zwischen den Bildern ändert, wenn das interessierende Objekt 14 relativ zum Optikkopf 12 bewegt wird. Zu Techniken, die diese Phasenänderung hervorrufen könnten, gehören Moiréinterferometrie, Weißlichtinterferometrie, standardmäßige optische Interferometrie mit monochromatischem Licht, Ellipsometrie, Doppelbrechung und Thermowellen-Bildaufnahme.

[0043] Die Verwendung von Polarisatoren zum Erzeugen eines Ellipsometers veranschaulicht einen anderen Effekt auf optischer Basis, bei dem sich die Phase zwischen den erzeugten Bildern ändert, wenn das interessierende Objekt 14 relativ zum Optikkopf 12 bewegt wird. Die Verwendung dieser scannenden Phasenmesstechnik bei einer ellipsometrischen und Doppelbrechungsmessung kann als Anwendung eines Ellipsometers mit rotierendem Analysator verstanden werden (wie auf den S. 410–413 des Buchs mit dem Titel "Ellipsometry and Polarized Light", Azam und Bashara, beschrieben). Der Ellipsometer mit rotierendem Analysator projiziert polarisiertes Licht auf eine Oberfläche, und die Polarisation des reflektierten Strahls (oder des transmittierten Strahls, was von der Geometrie abhängt) wird durch Drehen eines Analysators (Linearpolarisator) vor dem empfangenden Detektor ermittelt. Die vom Detektor empfangene Strahlung variiert als Sinusfunktion mit dem Doppelten der Frequenz des rotierenden Analysators. Die Amplitude des Signals ist proportional zum

Ausmaß der linearen Polarisation des vom Analysator empfangenen Lichts, und die Phase definiert den Polarisationswinkel.

[0044] Unter Verwendung der scannenden Phasenmesstechnik gemäß der vorliegenden Anmeldung würde der rotierende Analysator durch drei oder mehr Analysatoren ersetzt werden, von denen jeder über eine Zeile von Detektorelementen (Scanzeilen) hinter ihm verfügen würde, um ein Bild der empfangenen Strahlung unter verschiedenen Polarisationsphasenwerten zu empfangen. Das zu messende Objekt würde am festen Projektor und Detektorsystem am Optikkopf 12", wie in der [Fig. 4](#) dargestellt, vorbeibewegt werden, wobei polarisiertes Licht projiziert würde (anstatt des Lichtstreifenmusters, wie für ein Höhenmesssystem beschrieben). Jede der Scanzeilen misst eine andere Phase des sinusförmigen Polarisationssignals.

[0045] Einzelheiten in der [Fig. 4](#) mit derselben oder ähnlichen Struktur und/oder Funktion wie Einzelheiten bei den vorigen Figuren tragen eine Kennzeichnung mit Anführungszeichen. Z.B. gilt:

- Die Bezugszahl 12" kennzeichnet einen Optikkopf eines scannenden Phasenmessellipsometers;
- Die Bezugszahl 14" kennzeichnet ein Objekt, dessen Polarisationsantwort gemessen wird;
- Die Bezugszahl 18" kennzeichnet eine Oberfläche des Objekts 14", dessen Polarisationsantwort unter Verwendung eines Projektors 38" gemessen wird;
- Die Bezugszahl 20" kennzeichnet eine Relativbewegung des gemessenen Objekts 14";
- Die Bezugszahl 24" kennzeichnet eine Kamera mit trilinearem Array mit Analysatoren 25";
- Die Bezugszahl 36" kennzeichnet projiziertes, polarisiertes Licht;
- Die Bezugszahl 38" kennzeichnet einen Polarisationslichtprojektor für ein Standardellipsometer;
- Die Bezugszahl 40" kennzeichnet eine Abbildungslinse; und
- Die Bezugszahl 42" kennzeichnet einen Polarisationslichtprojektor für ein Ellipsometer in einem Transmissionsmodus (Doppelbrechungs-Messsystem).

[0046] Die Bezugszahlen 60, 61 und 62 kennzeichnen ein Analysatorsystem vor Detektorzeilen, wobei 60 einen Linearpolarisator parallel zum Lineararray 24" kennzeichnet, 61 einen Linearpolarisator unter 45° zum Lineararray 24" kennzeichnet, und 62 einen Linearpolarisator orthogonal zum Lineararray 24" kennzeichnet.

[0047] Das in der [Fig. 4](#) dargestellte Beispiel nutzt eine Kamera 24" mit trilinearem Array, wobei die Analysatoren (Linearpolarisatoren) 25" für die drei Scanzeilen auf 0°, 45° und 90° eingestellt sind. Hin-

sichtlich der Phasenverschiebungstechnologie misst jede Scanzeile einen anderen "Transporteur", und auf dem Computer wird zum Messen der Phase und der Amplitude des durch dieses scannende Analysatorsystem empfangenen Signals ein Algorithmus mit drei "Erzeugern" verwendet.

[0048] Es wird erneut auf die erste Ausführungsform der Erfindung Bezug genommen, gemäß der der Optikkopf **12** über den Lichtstreifenprojektor **28** verfügt und die Kamera über die Abbildungslinse **40** zum Fokussieren der gescannten Oberfläche auf das trilineare Array **24** verfügt. Die gescannte Oberfläche wird in der Richtung des Pfeils **20** am Optikkopf **12** vorbeigeschoben. Um Parallaxeeffekte sowohl bei der Projektion als auch der Abbildung zu beseitigen, sollte das Projektions- und Abbildungssystem entweder telezentrisch oder nahezu telezentrisch sein. Ein nahezu telezentrisches System wird dadurch erzeugt, dass der Abstand von den Optiken viel größer als der Bereich der Messtiefe ist.

[0049] Für die vorliegende Erörterung werden die Daten vom ersten Lineararray im Detektor als b_1 (für Erzeuger (Bucket) 1) bezeichnet. In ähnlicher Weise werden das zweite und das dritte Lineararray als b_2 bzw. b_3 bezeichnet. Die Schrittweite des projizierten Lichtmusters erzeugt eine Phasendifferenz mit einem Zyklus $1/2$ zwischen b_1 und b_3 . Für jedes Lineararray bezeichnet $b_1(i, j)$, $b_2(i, j)$ und $b_3(i, j)$, wobei j die Pixelnummer kennzeichnet und i die Scannummer kennzeichnet. Z.B. wäre $b_2(25, 33)$ der Intensitätsablesewert für das Pixel **25** des zweiten Lineararrays, der beim Scanvorgang **33** aufgenommen wird.

[0050] Der Phasenwert, der proportional zur Tiefe ist, wird im Computer **28** unter Verwendung des Lichtintensitäts-Lesewerts vom trilinearen Array berechnet, wenn sich das Objekt **14** gleichmäßig am Optikkopf **12** vorbeibewegt. Die bevorzugte Gleichung ist:

$$\text{Phasenwert}(i, j) = \arctan\{[b_1(i, j) - b_2(i, j + m)] / [b_2(i, j + m) - b_3(i, j + 2m)]\}$$

[0051] Wobei m eine ganze Zahl ist, die dafür sorgt, dass die erforderliche Bildverschiebung zur Ausrichtung zwischen b_1 , b_2 und b_3 passt.

[0052] Auf ähnliche Weise ist die bevorzugte Gleichung für den Amplitudenwert:

$$\text{Amplitudenwert}(i, j) = (((b_1(i, j) - b_2(i, j + m))^2 + (b_2(i, j) - (b_3(i, j + 2m))^2)^{1/2}$$

[0053] In manchen Fällen ist es wünschenswert, aus mehr als einem Winkel zu projizieren. Z.B. können durch Projizieren von jeder Seite der Kamera Verdeckungsprobleme verringert werden. Das Projizieren mit Mustern mit verschiedenen Konturintervallen

(Tiefenänderung für einen Zyklus einer Phase) kann dazu verwendet werden, eine Doppeldeutigkeit zu beseitigen, wenn der Messbereich mehr als einem Konturintervall entspricht.

[0054] Messungen mit mehr als einem Projektor unter Einschluss eines zweiten Projektor **42** können dadurch bewerkstelligt werden, dass das Teil am Optikkopf vorbeibewegt wird und umgeschaltet wird, welcher der Projektoren **38** und **42** für einen jeweiligen Zyklus eingeschaltet ist. Oder es kann einer der beleuchtenden Projektoren **38** oder **42** für jeden Scanvorgang des Arrays gewechselt werden. Z.B. würde, wenn zwei Projektoren angenommen werden, wenn j gerade ist, der erste Projektor **38** eingeschaltet sein, während dann, wenn j ungerade ist, der zweite Projektor **42** eingeschaltet wäre. Für Berechnungen zum korrekten Ausarbeiten dieses Abwechslungssystems muss dann m , der ganzzahlige Verschiebungswert, gerade sein. So wäre, unter Verwendung dieser Abwechslungs-Vorgehensweise, das Phasenwertbild für den ersten Projektor **38** der Phasenwert $(i, 2j)$ mit $j = 0, 1, 2, \dots$; und das Phasenwertbild für den zweiten Projektor **42** wäre der Phasenwert $(i, 2j + 1)$ mit $j = 0, 1, 2, \dots$

[0055] Wenn es erwünscht ist, die Schrittweite des abgebildeten Gittermusters zu erhöhen, kann auf der Abbildungsseite ein zweites Gitter **44** hinzugefügt werden, wie es in der [Fig. 3](#) dargestellt ist. In einigen Fällen ist es wünschenswert, zwischen dem Gitter **44** und dem Array **24** eine Abbildungslinse einzufügen. Die in der [Fig. 3](#) dargestellten Teile, die über dieselbe oder eine ähnliche Funktion wie die Teile der [Fig. 2](#) verfügen, tragen dieselbe Bezugszahl, jedoch mit einem Apostroph.

[0056] Der Schwebungseffekt zwischen den zwei Gittermustern entspricht dem optischen Moiréeffekt, und dadurch wird die auf den Detektor abgebildete Schrittweite erhöht. Dies kann dann wünschenswert sein, wenn es erwünscht ist, eine Schrittweite zu verwenden, die feiner als die ist, die vom Detektor aufgelöst werden kann. D.h., dass die Primärschrittweite kleiner als die Breite eines Pixels ist.

[0057] Während die beste Art zum Ausführen der Erfindung detailliert beschrieben wurde, erkennt es der Fachmann, dass verschiedene alternative Ausführungsformen möglich sind.

Patentansprüche

1. Meßverfahren zum Hochgeschwindigkeitsscannen eines Objekts (**14**, **14'**, **14''**), umfassend die folgenden Schritte:
Projizieren eines Lichtmusters (**36**, **36'**, **36''**),
Erhalten des projizierten Lichtmusters und eines Detektors (**24**, **24'**, **24''**) in einer im wesentlichen festen Beziehung zueinander,

Erzeugen von Relativbewegung zwischen dem Objekt und dem projizierten Lichtmuster, um das projizierte Lichtmuster über einen Bereich einer Oberfläche (**18, 18', 18''**) des Objekts zu scannen, um ein abbildbares Lichtsignal zu erzeugen,
 Abbilden des abbildbaren Lichtsignals auf dem Detektor, wobei der Oberflächenbereich des Objekts auf dem Detektor bei einer ersten, einer zweiten und einer dritten Phase des projizierten Lichtmusters abgebildet wird, und
 Messen mittels des Detektors einer Lichtmenge vom Oberflächenbereich des Objekts zum Detektor bei der ersten, der zweiten und der dritten Phase.

2. Verfahren nach Anspruch 1, ferner umfassend den folgenden Schritt:

Berechnen von zum Objekt gehörigen Dimensionsinformationen basierend auf dem Meßschritt.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei der Detektor ein erstes Detektorelement (**25, 25', 25''**), ein zweites Detektorelement (**25, 25', 25''**) und ein drittes Detektorelement enthält, und wobei das Abbilden des Lichtsignals das Abbilden des Oberflächenbereichs des Objekts auf das erste Detektorelement bei einer ersten Phase des projizierten Lichtmusters, das Abbilden des Oberflächenbereichs des Objekts auf das zweite Detektorelement bei einer zweiten Phase des projizierten Lichtmusters und das Abbilden des Oberflächenbereichs des Objekts auf das dritte Detektorelement bei einer dritten Phase des projizierten Lichtmusters umfaßt.

4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei das erste, das zweite und das dritte Detektorelement (**25, 25', 25''**) jeweils mehrere Detektorpixelelemente enthalten und wobei das Abbilden des Lichtsignals umfaßt: das Abbilden mehrerer Oberflächenbereiche des Objekts auf die mehreren Detektorpixelelemente des ersten Detektorelements bei einer ersten Phase des projizierten Lichtmusters, das Abbilden der mehreren Oberflächenbereiche des Objekts auf die mehreren Detektorpixelelemente des zweiten Detektorelements bei einer zweiten Phase des projizierten Lichtmusters und das Abbilden der mehreren Oberflächenbereiche des Objekts auf die mehreren Detektorpixelelemente des dritten Detektorelements bei einer dritten Phase des projizierten Lichtmusters.

5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, wobei ein Abstand zwischen dem ersten und dem zweiten Detektorelement im wesentlichen gleich einem entsprechenden Abstand zwischen dem zweiten und dem dritten Detektorelement ist und wobei die Relativbewegung mit einer im wesentlichen gleichmäßigen Geschwindigkeit erzeugt wird.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Detektor eine optische Achse aufweist und wobei die Relativbewegung zwischen

dem Objekt und dem projizierten Lichtmuster in einer zur optischen Achse im wesentlichen senkrechten Richtung erzeugt wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei der Detektor eine optische Achse aufweist und wobei die Relativbewegung zwischen dem Objekt und dem projizierten Lichtmuster in einer zur optischen Achse im wesentlichen parallelen Richtung erzeugt wird.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Relativbewegung zwischen dem Objekt und dem projizierten Lichtmuster durch Bewegen des Objekts erzeugt wird.

9. Verfahren nach Anspruch 8, wobei das projizierte Lichtmuster und der Detektor stationär gehalten werden, während das Objekt bewegt wird.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das projizierte Lichtmuster mehrere verschiedene Intensitäten enthält, um das Muster so zu definieren, daß die erste, die zweite und die dritte Phase drei verschiedenen Lichtintensitäten entsprechen.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei das projizierte Licht polarisiert ist, um das Muster zu definieren, und wobei die erste, die zweite und die dritte Phase verschiedenen Polarisationsphasen entsprechen.

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei beim Meßschritt ein Amplitudenwert zu jeder der drei Phasen erhalten wird und wobei das Verfahren ferner das Bestimmen einer Höhe des Oberflächenbereichs des Objekts basierend auf Phasen- und Amplitudenwerten aus dem Meßschritt umfaßt.

13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Projektionsschritt das Projizieren mit zwei projizierten Lichtmustern umfaßt.

14. Verfahren nach Anspruch 13, wobei die Relativbewegung zwischen dem Objekt und dem projizierten Lichtmuster erzeugt wird, um das Objekt relativ zu den zwei projizierten Lichtmustern wechseln zu lassen, und wobei die zwei projizierten Lichtmuster abwechselnd projiziert werden.

15. Verfahren nach Anspruch 13 oder 14, wobei die zwei projizierten Lichtmuster abwechselnd während aufeinanderfolgender Scanvorgänge projiziert werden.

16. Meßsystem (**12, 12', 12'', 31**) zum Hochgeschwindigkeitsscannen eines Objekts (**14, 14', 14''**), umfassend

eine Projektoreinrichtung (**38, 38', 38''**) zum Projizieren eines Lichtmusters (**36, 36', 36''**) mit einer ersten, einer zweiten und einer dritten Phase, eine Antriebseinrichtung (**31**) zum Erzeugen von Relativbewegung zwischen dem Objekt und dem Projektor, um das projizierte Lichtmuster über einen Bereich einer Oberfläche (**18, 18', 18''**) des Objekts zu scannen, um ein abbildbares Lichtsignal zu erzeugen, und einen in einer im wesentlichen festen Beziehung zum Projektor und zum Lichtmuster gehaltenen Detektor (**24, 24', 24''**), der dazu dient, einen ersten Bildwert basierend auf einer Lichtmenge in einem Bild des gescannten Oberflächenbereichs bei der ersten Phase des projizierten Lichtmusters, einen zweiten Bildwert basierend auf einer Lichtmenge in einem Bild des gescannten Oberflächenbereichs bei der zweiten Phase und einen dritten Bildwert basierend auf einer Lichtmenge in einem Bild des gescannten Oberflächenbereichs bei der dritten Phase zu erstellen.

17. System nach Anspruch 16, ferner umfassend: eine mit dem Detektor verbundene Recheneinrichtung (**22, 26, 28, 32**) zum Berechnen von zum Objekt gehörigen Dimensionsinformationen basierend auf dem ersten, dem zweiten und dem dritten Bildwert.

18. System nach Anspruch 16 oder 17, wobei der Detektor ein erstes Detektorelement (**25, 25', 25''**), ein zweites Detektorelement (**25, 25', 25''**) und ein drittes Detektorelement (**25, 25', 25''**) enthält, und wobei die Detektorelemente so zum Abbilden des abbildbaren Lichtsignals angeordnet sind, daß im Betrieb das erste Detektorelement den ersten Bildwert bei der ersten Phase des projizierten Lichtmusters erstellt, das zweite Detektorelement den zweiten Bildwert bei der zweiten Phase des projizierten Lichtmusters und das dritte Detektorelement den dritten Bildwert bei der dritten Phase des projizierten Lichtmusters.

19. System nach Anspruch 18, wobei das erste, das zweite und das dritte Detektorelement (**25, 25', 25''**) jeweils mehrere Detektorpixelelemente enthalten und wobei die Detektorelemente so zum Abbilden des abbildbaren Lichtsignals angeordnet sind, daß im Betrieb mehrere Oberflächenbereiche des Objekts auf mehrere Detektorpixelelemente des ersten Detektorelements bei der ersten Phase des projizierten Lichtmusters abgebildet werden, die mehreren Oberflächenbereiche des Objekts auf die mehreren Detektorpixelelemente des zweiten Detektorelements bei der zweiten Phase des projizierten Lichtmusters abgebildet werden und die mehreren Oberflächenbereiche des Objekts auf die mehreren Detektorpixelelemente des dritten Detektorelements bei der dritten Phase des projizierten Lichtmusters abgebildet werden.

20. System nach Anspruch 18 oder 19, wobei ein Abstand zwischen dem ersten und dem zweiten Detektorelement im wesentlichen gleich einem entsprechenden Abstand zwischen dem zweiten und dem dritten Detektorelement ist und wobei die Antriebseinrichtung zum Erzeugen von Relativbewegung mit einer im wesentlichen gleichmäßigen Geschwindigkeit ausgelegt ist.

21. System nach einem der Ansprüche 18 bis 20, wobei der Detektor eine trilineare Array-Kamera umfaßt.

22. System nach einem der Ansprüche 16 bis 21, wobei der Detektor eine optische Achse aufweist, und die Antriebseinrichtung zum Erzeugen von Relativbewegung zwischen dem Objekt und dem projizierten Lichtmuster in einer zur optischen Achse im wesentlichen senkrechten Richtung ausgelegt ist.

23. System nach einem der Ansprüche 16 bis 21, wobei der Detektor eine optische Achse aufweist, und die Antriebseinrichtung zum Erzeugen von Relativbewegung zwischen dem Objekt und dem projizierten Lichtmuster in einer zur optischen Achse im wesentlichen parallelen Richtung ausgelegt ist.

24. System nach einem der Ansprüche 16 bis 23, wobei die Antriebseinrichtung zum Erzeugen von Relativbewegung zwischen dem Objekt und dem projizierten Lichtmuster durch Bewegen des Objekts ausgelegt ist.

25. System nach Anspruch 24, wobei das System so angeordnet ist, daß das projizierte Lichtmuster und der Detektor stationär gehalten werden, während das Objekt durch die Antriebseinrichtung bewegt wird.

26. System nach einem der Ansprüche 16 bis 25, wobei die Projektoreinrichtung zum Projizieren eines Lichtmusters mit mehreren verschiedenen Lichtintensitäten ausgelegt ist, um das Muster so zu definieren, daß die erste, die zweite und die dritte Phase verschiedenen Lichtintensitäten entsprechen.

27. System nach einem der Ansprüche 16 bis 25, wobei die Projektoreinrichtung zum Projizieren von polarisiertem Licht ausgelegt ist, um das Muster zu definieren, und wobei die erste, die zweite und die dritte Phase verschiedenen Polarisationsphasen entsprechen.

28. System nach einem der Ansprüche 16 bis 27, ferner umfassend eine zweite Projektoreinrichtung (**42, 42''**) zum Projizieren eines zweiten Lichtmusters.

29. System nach Anspruch 28, wobei die An-

triebseinrichtung zum Erzeugen von Relativbewegung zwischen dem Objekt und dem projizierten Lichtmuster ausgelegt ist, um das Objekt relativ zu den zwei Projektoren wechseln zu lassen, und wobei die zwei Projektoren dazu ausgelegt sind, abwechselnd die Lichtmuster zu projizieren.

30. System nach Anspruch 29, wobei die zwei Projektoren zum abwechselnden Projizieren des Lichtmusters während aufeinanderfolgender Scanvorgänge ausgelegt sind.

31. Optikkopf (**12, 12', 12''**) zur Verwendung in einem System nach Anspruch 16, der Optikkopf umfassend:
eine Projektoreinrichtung (**38, 38', 38''**) zum Projizieren eines Lichtmusters (**36, 36', 36''**) mit einer ersten, einer zweiten und einer dritten Phase, und
einen in einer im wesentlichen festen Beziehung zum Projektor und zum Lichtmuster gehaltenen Detektor (**24, 24', 24''**), der dazu ausgelegt ist, einen ersten Bildwert basierend auf einer Lichtmenge in einem Bild des gescannten Oberflächenbereichs bei einer ersten Phase des projizierten Lichtmusters zu erstellen, einen zweiten Bildwert basierend auf einer Lichtmenge in einem Bild des gescannten Oberflächenbereichs bei der zweiten Phase und einen dritten Bildwert basierend auf einer Lichtmenge in einem Bild des gescannten Oberflächenbereichs bei der dritten Phase.

32. Optikkopf nach Anspruch 31, wobei der Detektor ein erstes Detektorelement (**25, 25', 25''**), ein zweites Detektorelement (**25, 25', 25''**) und ein drittes Detektorelement (**25, 25', 25''**) enthält und wobei die Detektorelemente zum Abbilden des abbildbaren Lichtsignals so angeordnet sind, daß im Betrieb das erste Detektorelement den ersten Bildwert bei der ersten Phase des projizierten Lichtmusters erstellt, das zweite Detektorelement den zweiten Bildwert bei der zweiten Phase des projizierten Lichtmusters und das dritte Detektorelement den dritten Bildwert bei der dritten Phase des projizierten Lichtmusters.

33. Optikkopf nach Anspruch 32, wobei das erste, das zweite und das dritte Detektorelement (**25, 25', 25''**) jeweils mehrere Detektorpixelelemente enthalten, und wobei die Detektorelemente zum Abbilden des abbildbaren Lichtsignals so angeordnet sind, daß im Betrieb mehrere Oberflächenbereiche des Objekts auf die mehreren Detektorpixelelemente des ersten Detektorelements bei der ersten Phase des projizierten Lichtmusters abgebildet werden, die mehreren Oberflächenbereiche des Objekts auf die mehreren Detektorpixelelemente des zweiten Detektorelements bei der zweiten Phase des projizierten Lichtmusters abgebildet werden und die mehreren Oberflächenbereiche des Objekts auf die mehreren Detektorpixelelemente des dritten Detektorelements bei der dritten Phase des projizierten Lichtmusters

abgebildet werden.

34. Optikkopf nach Anspruch 32 oder 33, wobei ein Abstand zwischen dem ersten und dem zweiten Detektorelement im wesentlichen gleich einem entsprechenden Abstand zwischen dem zweiten und dem dritten Detektorelement ist.

35. Optikkopf nach einem der Ansprüche 32 bis 34, wobei der Detektor eine trilineare Array-Kamera umfaßt.

36. Optikkopf nach einem der Ansprüche 31 bis 35, wobei die Projektoreinrichtung dazu dient, ein Lichtmuster mit mehreren verschiedenen Lichtintensitäten, die das Muster definieren, zu projizieren, so daß die erste, die zweite und die dritte Phase verschiedenen Lichtintensitäten entsprechen.

37. Optikkopf nach einem der Ansprüche 31 bis 35, wobei die Projektoreinrichtung dazu dient, polarisiertes Licht, das das Muster definiert, zu projizieren, und wobei die erste, die zweite und die dritte Phase verschiedenen Polarisationsphasen entsprechen.

38. Optikkopf nach einem der Ansprüche 31 bis 37, ferner umfassend einen zweiten Projektor (**42, 42''**) zum Projizieren eines zweiten Lichtmusters.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

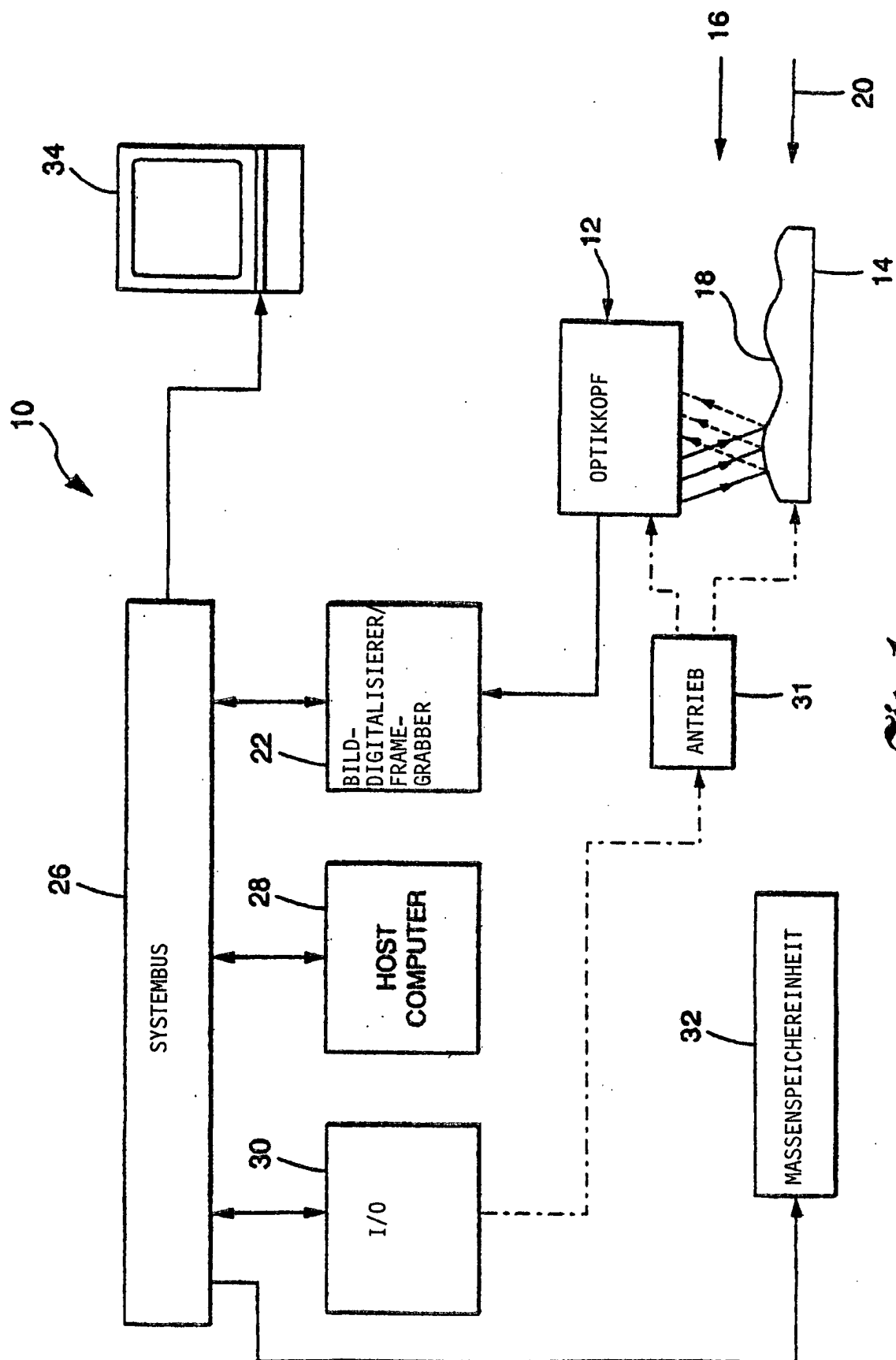


Fig. 1

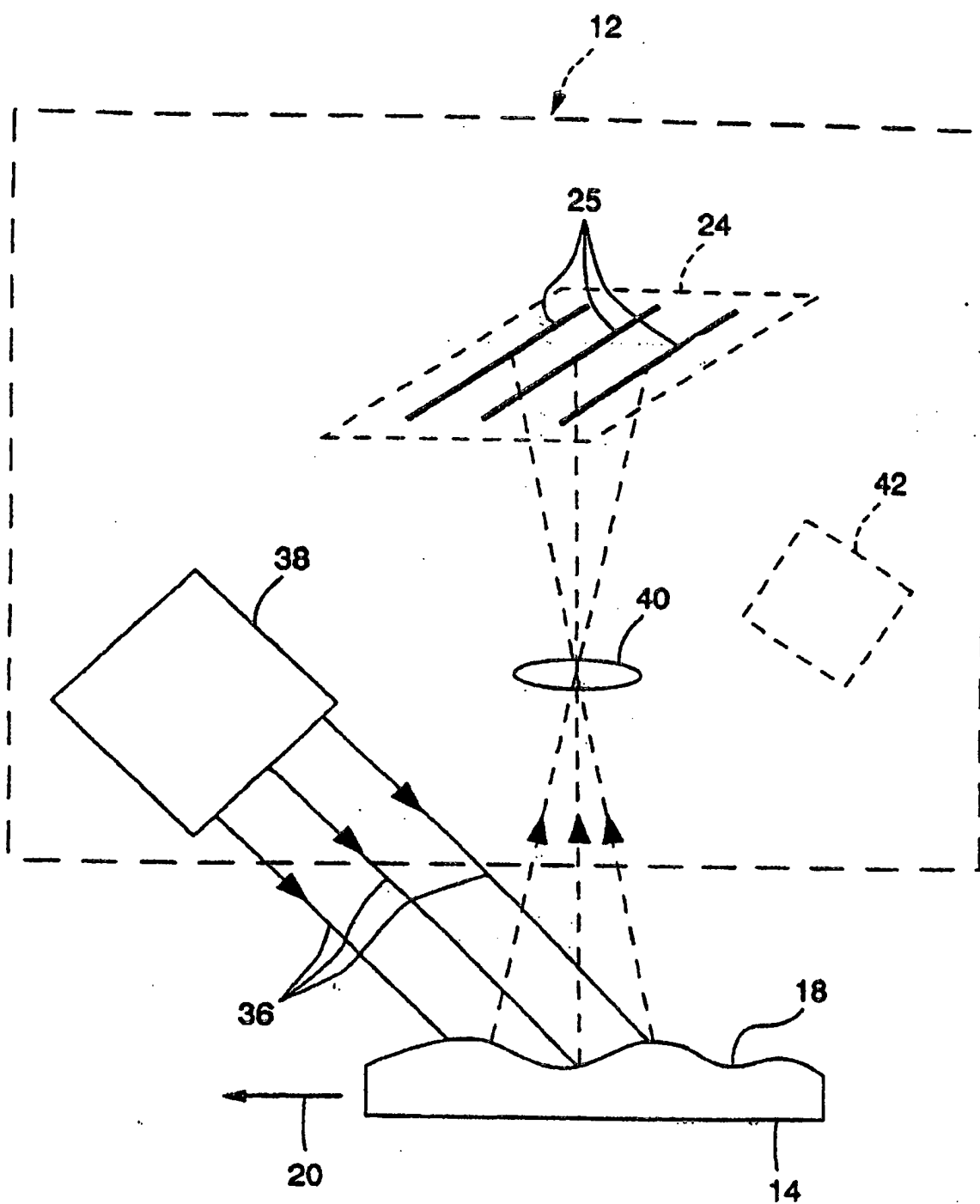


Fig. 2

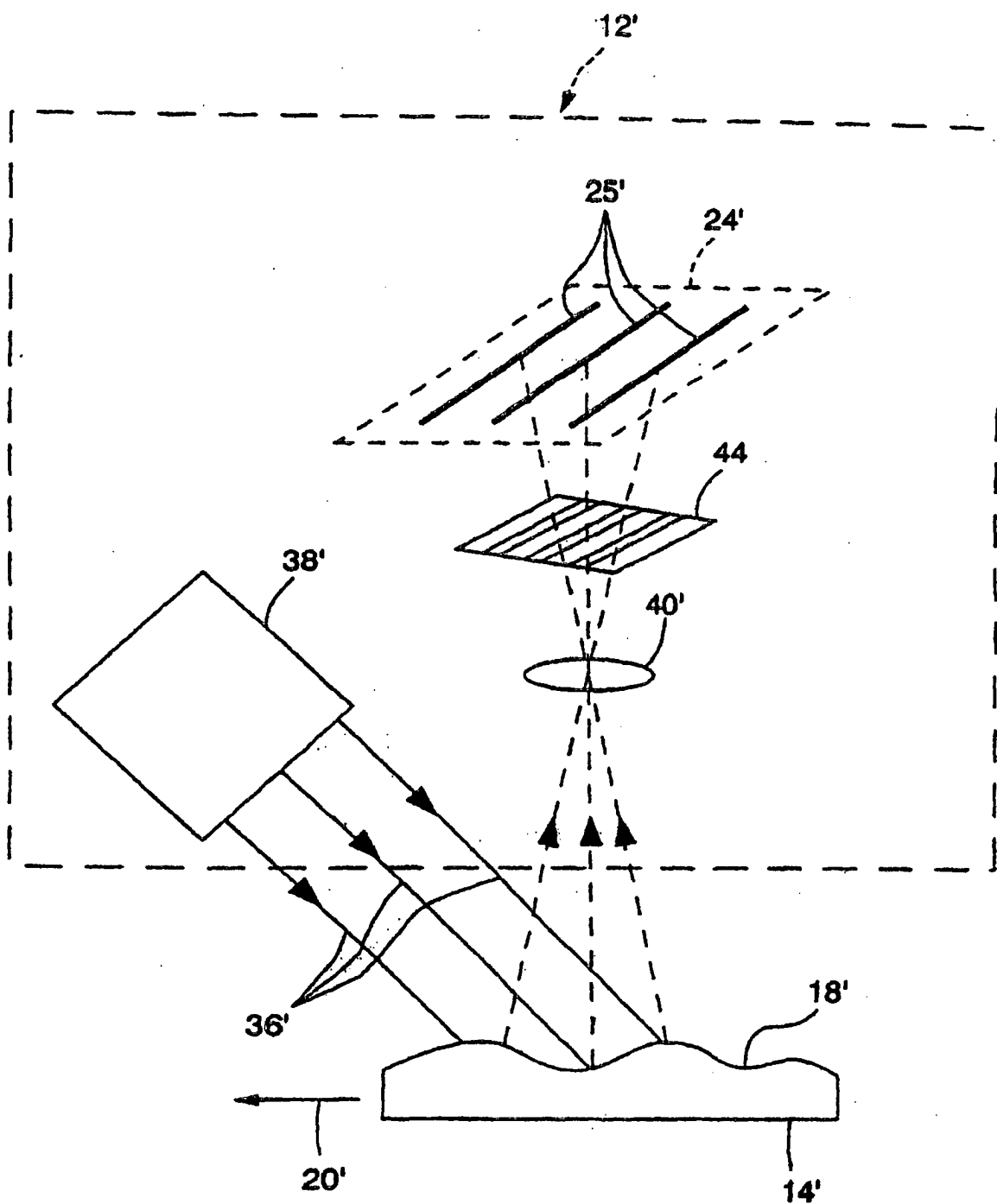


Fig. 3

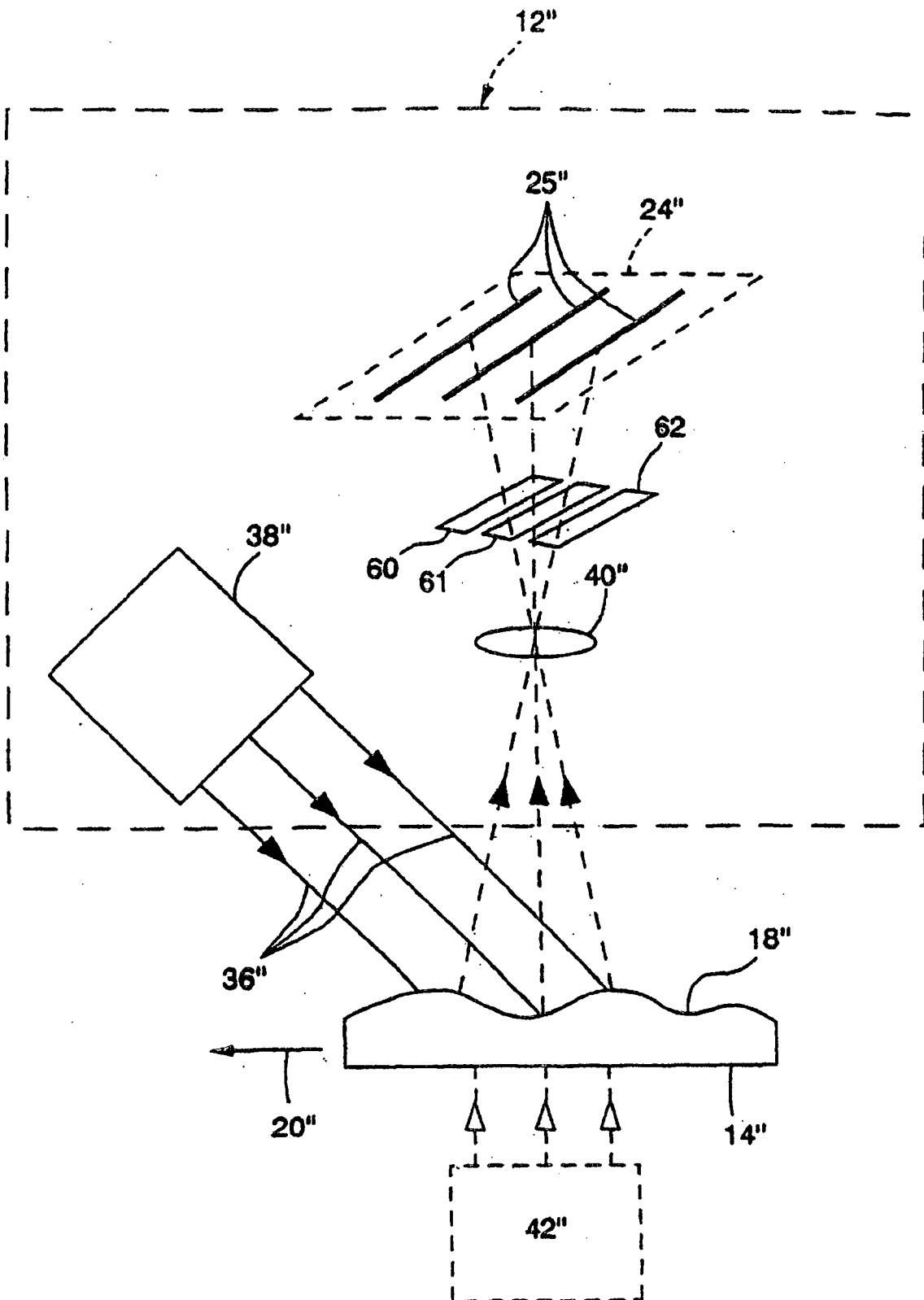


Fig. 4