

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
10. April 2003 (10.04.2003)

PCT

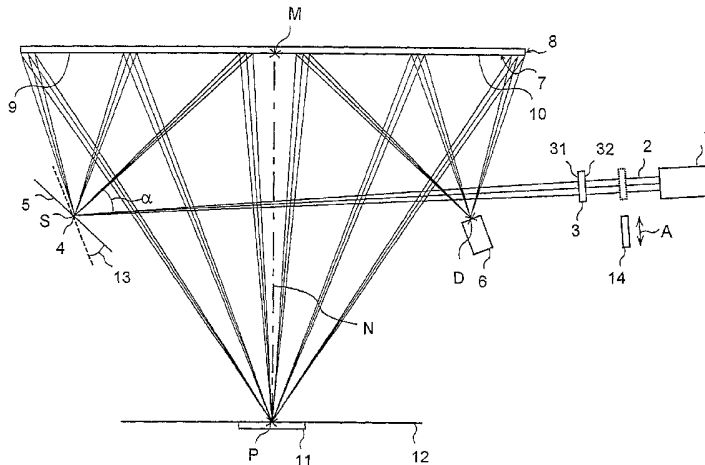
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 03/029793 A2

- (51) Internationale Patentklassifikation⁷: **G01N 21/55**, (71) **Anmelder** (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von
21/21 **US**): **CARL ZEISS MICROELECTRONIC SYSTEMS**
GMBH [DE/DE]; Carl-Zeiss-Promenade 10, 07745 Jena
(DE).
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP02/10474
- (22) Internationales Anmeldedatum: 18. September 2002 (18.09.2002) (72) **Erfinder; und**
(75) **Erfinder/Anmelder** (nur für **US**): **DOBSCHAL,**
Hans-Jürgen [DE/DE]; Am Kötschauer Weg 26 A,
99510 Kleinromstedt (DE). **STEINER, Reinhard**
[DE/DE]; Homberger Ring 11 A, 07646 Stadtroda (DE).
BISCHOFF, Jörg [DE/DE]; Schillerstrasse 19, 98693
Illmenau (DE).
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
101 46 944.6 24. September 2001 (24.09.2001) DE

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: MEASURING ARRAY

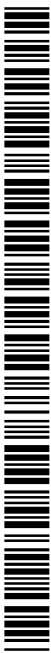
(54) Bezeichnung: MESSANORDNUNG



(57) **Abstract:** The invention relates to a measuring array having a radiation source (10), a deflecting device (5) arranged downstream thereof, which can be hit by a ray (2) coming out of the radiation source (1) and which deflects said ray successively in time in different directions. Said array also comprises a first and a second optical device (9, 10) and a detector (6), wherein the first optical device (9) deflects the rays coming from the deflecting device (5) in the form of measuring rays to a point (P) of a sample (11) that is to be arranged in a measuring position in such a way that the angle of incidence of the measuring ray on the sample (11) varies depending on the direction. The sample rays coming out of the sample (11) due to the interaction between the measuring rays and the sample are deflected by the second optical device (10) onto the detector (11). At least one of the two optical devices (9, 10) has a diffracting element (7) for deflection, said element diffracting the incident rays coming from different directions in such a way that the rays diffracted in a given diffraction order are focused on a point (P, D).

(57) **Zusammenfassung:** Bei einer Messanordnung mit einer Strahlungsquelle (1), einer dieser nachgeordneten Ablenkeinrichtung (5), die mit einem von der Strahlungsquelle (1) ausgehenden Strahl (2) beaufschlagbar ist und diesen zeitlich nacheinander in unterschiedliche Richtungen abgelenkt, und weiter mit einer ersten und einer zweiten Optikeinrichtung (9, 10) sowie einem Detektor (6), wobei die erste Optikeinrichtung

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 03/029793 A2



(74) **Anwälte:** GRIMM, Christian usw.; Geyer, Fehners & Partner, Perhamerstrasse 31, 80687 München (DE).

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

(81) **Bestimmungsstaaten** (*national*): JP, US.

(84) **Bestimmungsstaaten** (*regional*): europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SK, TR).

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(9) die von der Ablenkeinrichtung (5) kommenden Strahlen jeweils als Messstrahl auf einen Punkt (P) einer in einer Messposition anzuordnenden Probe (11) derart umlenkt, dass der Einfallswinkel des Messstrahls auf die Probe (11) in Abhängigkeit der Richtung variiert, und wobei von der Probe (11) aufgrund der Wechselwirkung der Messstrahlen mit der Probe ausgehende Probenstrahlen mittels der Wechselwirkung der Messstrahlen mit der Probe ausgehende Probenstrahlen mittels der zweiten Optikeinrichtung (10) auf den Detektor (11) umlenkt werden, weist zumindest eine der beiden Optikeinrichtungen (9, 10) ein diffraktives Element (7) zur Umlenkung auf, das die aus unterschiedlichen Richtungen einfallenden Strahlen derart beugt, dass die gebeugten Strahlen einer vorbestimmten Beugungsordnung in einen Punkt (P, D) fokussiert werden.

10

Meßanordnung

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Meßanordnung mit einer Strahlungsquelle, einer dieser
15 nachgeordneten Ablenkeinrichtung, die mit einem von der Strahlungsquelle ausgehenden
Strahl beaufschlagbar ist und diesen zeitlich nacheinander in unterschiedlichen Richtungen
ablenkt, und weiter mit einer ersten und mit einer zweiten Optikeinrichtung sowie einem
Detektor, wobei die erste Optikeinrichtung die von der Ablenkeinrichtung kommenden Strahlen
jeweils als Meßstrahl auf einen Punkt einer in einer Meßposition anzuordnenden Probe derart
20 umlenkt, daß der Einfallswinkel des Meßstrahls auf die Probe in Abhängigkeit von der
Richtung variiert, und wobei von der Probe aufgrund der Wechselwirkung der Meßstrahlen mit
der Probe ausgehende Probenstrahlen mittels der zweiten Optikeinrichtung auf den Detektor
umgelenkt werden.

25 Eine solche Meßanordnung wird insbesondere zur Messung winkelabhängiger
Beugungseffekte an fein strukturierten Oberflächen eingesetzt und ist beispielsweise in DE
199 14 696 A1 beschrieben. Bei der in DE 199 14 696 A1 beschriebenen Meßanordnung sind
die erste und zweite Optikeinrichtung durch Spiegel oder durch Spiegelsegmente verwirklicht.
Dies führt zu einer komplizierten und aufwendigen Spiegelanordnung. Auch stellt die
30 Justierung der einzelnen Spiegel einen nicht zu vernachlässigenden Aufwand dar.

Ausgehend hiervon ist es Aufgabe der Erfindung, eine Meßanordnung der eingangs
genannten Art derart weiterzubilden, daß ihr Aufbau vereinfacht ist.

35 Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe bei einer Meßanordnung der eingangs genannten Art
dadurch gelöst, daß zumindest eine der beiden Optikeinrichtungen ein diffraktives Element zur
Umlenkung aufweist, das die aus unterschiedlichen Richtung einfallenden Strahlen derart
beugt, daß die gebeugten Strahlen einer vorbestimmten Beugungsordnung in einen Punkt
fokussiert werden.

40

Durch die Verwendung des diffraktiven Elements können vorteilhaft Spiegel bzw. Spiegelemente eingespart werden, so daß der Aufbau der Meßanordnung vereinfacht ist. Andererseits wirkt das diffraktive Element, wenn es reflektiv ist, für die vorbestimmte Beugungsordnung (die bevorzugt nicht die nullte, sondern eine höhere Beugungsordnung, wie

5 z. B. die positive oder negative erste Beugungsordnung ist) als Ellipsoidspiegel, mit dem alle von der Ablenkeinrichtung kommenden Strahlen auf die Probe bzw. alle von der Probe kommenden Strahlen auf den Detektor umgelenkt werden können.

Das diffraktive Element kann auch transmissiv sein. In diesem Fall wirkt es wie eine Linse mit

10 zwei optisch zueinander konjugierten Punkten. Die fokussierende Wirkung des diffraktiven Elements (transmissiv oder reflektiv) für die vorbestimmte Beugungsordnung wird bevorzugt für alle vom ersten Punkt ausgehende Strahlen sichergestellt, die innerhalb eines vorbestimmten Winkelbereichs auf das diffraktive Element treffen. Die Lage der beiden Punkte kann durch eine entsprechende Ausbildung des diffraktiven Elements in vorteilhafter Weise

15 relativ frei gewählt werden.

Als Punkt wird hier immer die Fläche bzw. das Raumelement bezeichnet, auf die die fokussierten Strahlen treffen bzw. in das die Strahlen fokussiert werden.

Das diffraktive Element der zweiten Optikeinrichtung bewirkt auch noch, daß selbst bei konischer Beugung an der Probe alle Probenstrahlen auf den Detektor umgelenkt werden. Die konische Beugung tritt dann auf, wenn der Gittervektor der zu untersuchenden Gitterstruktur der Probe (z.B. parallele, voneinander beabstandete Linien) nicht in der Einfallsebene liegt, wobei der Gittervektor die Richtung der Periodizität des Gitters kennzeichnet. Die bei der

20 konischen Beugung auftretenden höheren Beugungsordnungen, die nicht in der Einfallsebene liegen, können somit auch erfaßt werden.

Mit dem diffraktiven Element der ersten Optikrichtung können die von der Ablenkeinrichtung abgelenkten Strahlen, auch wenn sie nicht alle in einer Ebene liegen, auf den Probenpunkt

30 umgelenkt werden, so daß konische Beugung auftreten kann (da der Azimutwinkel der einzelnen Meßstrahlen verschieden von Null sein kann).

Des weiteren kann der Detektor feststehend zu den Optikeinrichtungen ausgebildet sein und muß während der Messung nicht bewegt werden.

35

In einer vorteilhaften Weiterbildung ist das diffraktive Element als reflektives Element ausgebildet, wodurch eine Faltung des Strahlengangs erzielt werden kann, was zu einer kompakteren Anordnung führt.

Insbesondere kann das diffraktive Element der ersten und der zweiten Optikeinrichtung als ein einziges Element ausgebildet sein. In diesem Fall entfällt die aufwendige und sehr schwierige Justierung, die erforderlich ist, wenn beide Optikeinrichtungen durch herkömmliche Spiegel realisiert werden. Auch entfällt das Problem, daß sich die beiden Optikeinrichtungen teilweise gegeneinander abschatten, vollständig, und die relative Justierung der beiden diffraktiven Elemente zueinander muß nicht mehr durchgeführt werden.

Bei einer besonders bevorzugten Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Meßanordnung ist das diffraktive Element auf einer planen Seite eines Trägers ausgebildet. Dadurch wird einerseits die erfindungsgemäße Meßanordnung kompakter und andererseits ist auch die Herstellung des diffraktiven Elementes besonders einfach, da es auf der planen Seite des Trägers ausgebildet wird.

Insbesondere kann der Träger eine planparallele Platte sein, was die Justierung und Ausrichtung des Trägers bei der Herstellung des diffraktiven Elements und auch bei der Verwendung in der erfindungsgemäßen Meßanordnung deutlich erleichtert.

Ferner kann das diffraktive Element ein Phasengitter sein. Ein solches Phasengitter läßt sich leicht mit der erforderlichen Genauigkeit in reproduzierbarer Art und Weise herstellen, so daß die gewünschte Wirkung des diffraktiven Elements gewährleistet werden kann.

Besonders bevorzugt ist es, wenn das diffraktive Element als Blaze-Gitter ausgebildet ist, da in diesem Fall nahezu die gesamte auf das diffraktive Element einfallende Strahlung in die vorbestimmte Beugungsordnung (bevorzugt die positive oder negative erste Beugungsordnung) gebeugt wird, so daß unerwünschten Beugungsverluste (Beugung anderer Ordnung) minimiert werden können. Wenn das Blaze-Gitter mittels eines holografischen Stehwellenverfahrens gebildet wird, sind die Flanken der Gittervertiefungen stetig und müssen nicht durch eine Treppenfunktion angenähert werden, so daß vorteilhaft so gut wie kein diffuses Streulicht auftritt, das die Abbildungseigenschaft des diffraktiven Elementes verschlechtern würde.

Insbesondere kann die Ablenkeinrichtung einen schwenkbaren bzw. drehbaren Spiegel (z.B. einen Galvanometerspiegel) umfassen, mit dem die gewünschte Ablenkung mit der erforderlichen Genauigkeit durchgeführt werden kann.

Die erfindungsgemäße Meßanordnung kann dadurch weitergebildet werden, daß das diffraktive Element der ersten Optikeinrichtung und das diffraktive Element der zweiten

Optikeinrichtung symmetrisch zu einer Mittellinie sind und daß die Ablenkeinrichtung und der Detektor symmetrisch zu einer Linie, auf der der Probenpunkt liegt und die senkrecht zur Mittellinie ist, angeordnet sind. Durch diese symmetrische Anordnung wird eine sehr kompakte Meßanordnung verwirklicht, mit der die gewünschte Messung sicher durchgeführt werden
5 kann.

Eine bevorzugte Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Meßanordnung besteht darin, daß die beiden diffraktiven Elemente der Optikeinrichtungen symmetrisch zu einer Mittellinie angeordnet sind, wobei die diffraktiven Elemente unsymmetrisch in einer Richtung senkrecht
10 zur Mittellinie und symmetrisch in Richtung der Mittellinie ausgebildet sind. Dadurch können die Optikeinrichtungen äußerst kompakt verwirklicht werden.

Des weiteren kann bei der erfindungsgemäßen Meßanordnung das diffraktive Element ein schaltbares Gitter sein, das entsprechend der Wellenlänge des auf das Ablenkelement treffenden Strahls einstellbar ist. Dadurch wird es möglich, das diffraktive Element während der
15 Messung auf unterschiedliche Wellenlängen einzustellen, so daß, wenn die Lichtquelle während der Messung nacheinander den Strahl mit unterschiedlicher Wellenlänge erzeugt, auch eine spektrale Durchführung der winkelaufgelösten photometrischen Messung ermöglicht wird. Als schaltbare Gitter können räumliche Lichtmodulatoren in Transmission oder in
20 Reflexion Verwendung finden. Es können beispielsweise reflektive oder transmissive LCD-Module oder reflektive Kippspiegelmatrizen eingesetzt werden. Als Strahlungsquelle, die einen Strahl mit unterschiedlichen Wellenlängen abgeben kann, kann eine polychromatische Quelle mit nachgeordnetem, einstellbarem Monochromator eingesetzt werden.

Ferner ist es möglich, daß bei der erfindungsgemäßen Meßanordnung zwischen der Strahlungsquelle und der Ablenkeinrichtung ein Polarisator eingeordnet ist, der bewirkt, daß der auf die Ablenkeinrichtung treffende Strahl einen vorbestimmten Polarisationszustand aufweist, und daß der Detektor mehrere unabhängig voneinander auslesbare Detektorpixel aufweist, denen Analysatoren mit unterschiedlichen Durchlaßrichtungen vorgeordnet sind.
25 Durch diese Weiterbildung können Informationen über die Änderung des Polarisationszustandes aufgrund der Wechselwirkung mit der Probe gewonnen werden, so daß eine winkelaufgelöste ellipsometrische Messung durchführbar ist. Sofern der Detektor auch noch zumindest ein Detektorpixel aufweist, mit dem die Intensität des an der Probe gebeugten Strahls (unabhängig von seinem Polarisationszustand) erfaßt werden kann, wird
30 gleichzeitig noch die beschriebene winkelaufgelöste photometrische Messung durchgeführt.

Eine weitere Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Meßanordnung besteht darin, daß eine Blende im Strahlengang von der Probe bis zum Detektor vorgesehen ist, die in Abhängigkeit

der mittels der Ablenkeinrichtung bewirkten Ablenkung so bewegbar ist, daß Probenstrahlen einer oder mehrerer vorbestimmter Beugungsordnungen abgeschattet werden und somit nicht in den Detektor treffen. Dadurch kann man gewährleisten, daß nur Probenstrahlen einer oder mehrerer gewünschter Beugungsordnungen vom Detektor erfaßt werden.

5

Die Erfindung wird nachfolgend anhand der Zeichnungen im Prinzip beispielshalber noch näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Ansicht der erfindungsgemäßen Meßanordnung;

10 Fig. 2 eine schematische Draufsicht eines Teils des Reflexionsgitters;

Fig. 3 eine schematische Ansicht zur Beschreibung der Herstellung des Reflexionsgitters, und

Fig. 4 eine schematische Ansicht des Polarisationsmosaikfilters.

15 Wie aus der schematischen Darstellung von Fig. 1 ersichtlich ist, umfaßt die erfindungsgemäße Meßanordnung eine Lichtquelle 1 (beispielsweise einen Argon-Ionen-Laser), die einen kohärenten Strahl 2 mit einer vorbestimmten Wellenlänge (im Fall des Argon-Ionen-Lasers beträgt die Wellenlänge 457,9 nm) abgibt, sowie eine Linse 3 und einen sich um eine Drehachse 4 drehbaren Drehspiegel 5. Der Strahl 2 wird dabei mittels der Linse 3 derart
20 fokussiert, daß der fokussierte Strahl 2 auf den Schnittpunkt S der Drehachse 4 mit der Zeichenebene trifft.

Die Meßanordnung enthält ferner einen Detektor 6 sowie ein Reflexionsgitter 7, das auf einer planen Seite einer Trägerplatte 8 ausgebildet ist und einen ersten und einen zweiten Abschnitt
25 9, 10 aufweist, die in der Darstellung von Fig. 1 an einem Mittelpunkt M aneinander grenzen.

Die Meßanordnung ist so ausgelegt, daß ein Probenpunkt P einer Probe 11 untersucht werden kann, wenn die Probe 11 in einer parallel zum Reflexionsgitter 7 verlaufenden Meßebeine 12 angeordnet ist. Der untersuchbare Probenpunkt P liegt dann auf der Normalen N des
30 Reflexionsgitters 7, die durch den Mittelpunkt M verläuft.

Wie auf Fig. 1 ersichtlich ist, sind der Drehspiegel 5 und der Detektor 6 symmetrisch zur Normalen N des Reflexionsgitters 7 angeordnet, wobei der Abstand des Drehspiegels 5 (bzw. des Punktes S des Drehspiegels 5, auf den der Strahl 2 trifft) vom Mittelpunkt M des
35 Reflexionsgitters 7 50,0 mm beträgt. Aufgrund der symmetrischen Anordnung des Detektors 6 zum Drehspiegel 5 beträgt auch der Abstand des Detektors 6 vom Mittelpunkt M 50,0 mm. Schließlich beträgt auch der Abstand des Probenpunktes P zum Mittelpunkt M 50,0 mm. Die Verbindungslinie vom Spiegel 5 zum Mittelpunkt M schließt mit der Verbindungslinie vom

Probenpunkt P zum Mittelpunkt M einen Winkel von 50° ein. Das gleiche gilt für die Verbindungslinie vom Probenpunkt P zum Mittelpunkt M und die Verbindungslinie vom Detektor 6 zum Mittelpunkt M.

- 5 Der Abstand der Plankonvexlinse 3 zum Drehspiegel 5 beträgt 99,34 mm, wobei die dem Drehspiegel 5 zugewandte Linsenfläche 31 plan ist und somit einen unendlich großen Krümmungsradius aufweist und die andere Linsenfläche 32 einen Krümmungsradius von 52,461 mm aufweist. Die Dicke der Linse 3 beträgt 1,0 mm, wobei die Brennweite der Linse 100 mm bei 457,9 nm beträgt. Als Linsenmaterial wird BK7 verwendet, das eine Brechzahl von 1,524612 (für 457,9 nm) und eine Abbesche Zahl von 63,96 (für 546 nm) aufweist.

Der kollimierte Strahl 2, der auf den Punkt S des Drehspiegels 5 trifft, wird mittels des Drehspiegels 5 in unterschiedliche Richtungen abgelenkt, wobei der Ablenkwinkel α (Winkel zwischen dem auf den Drehspiegel 5 treffenden Strahl 2 und dem vom Drehspiegel 5 reflektierten Strahl) von der Drehstellung des Drehspiegels 5 abhängt. Im hier beschriebenen Ausführungsbeispiel weist der Drehspiegel 5 einen Schwenkbereich 13 von 35° auf, wobei die Flächennormale des Drehspiegels mit dem Mittenstrahl des kollimierten Strahls 2 je nach Drehstellung einen Winkel von 15 bis 50° bildet. Der mittels des Drehspiegels 5 abgelenkte Strahl (in Fig. 1 sind drei abgelenkte Strahlen für drei Drehstellungen des Spiegels beispielhaft eingezeichnet) trifft auf den ersten Abschnitt 9 des Reflexionsgitters 7. Der erste Abschnitt 9 ist so ausgebildet, daß die positive erste Beugungsordnung jedes vom Drehspiegel 5 kommenden und auf den ersten Abschnitt 9 treffenden Strahls in den Punkt P fokussiert wird. Somit wirkt der erste Abschnitt 9 des Reflexionsgitters 7 hinsichtlich der ersten Beugungsordnung wie ein Spiegel, der den Punkt S in den Punkt P abbildet. Dadurch weist der erste Abschnitt 9 in diesem Sinne einen ersten Brennpunkt S und einen zweiten Brennpunkt P auf.

Durch diese Abbildungseigenschaft des ersten Abschnitts 9 des Reflexionsgitters 7 hängt der Einfallswinkel des auf die Probe 11 treffenden Strahls vom Umlenkwinkel α derart ab, daß der Einfallswinkel um so größer wird, desto größer der Umlenkwinkel α ist.

Die vom Probenpunkt P ausgehende Strahlung (z. B. nullte Beugungsordnung bzw. der spekulare Reflex) trifft auf den zweiten Abschnitt 10 des Reflexionsgitters 7, der derart ausgebildet ist, daß das Beugungsmaximum der positiven ersten Ordnung der auf ihn treffenden Strahlen im Detektor 6 bzw. in einem Detektorpunkt D liegt. Damit führt der zweite Abschnitt 10 des Reflexionsgitters 7 hinsichtlich der ersten Beugungsordnung eine Abbildung des Probenpunktes P in den Detektorpunkt D durch.

Das Reflexionsgitter 7 wirkt somit für die an ihm gebeugten Strahlen erster Ordnung als Spiegelement mit drei Brennpunkten, wobei der erste Brennpunkt der Punkt S, der zweite Brennpunkt der Probenpunkt P und der dritte Brennpunkt der Detektorpunkt D ist. Somit sind der erste und der zweite Brennpunkt einerseits sowie der zweite und der dritte Brennpunkt
5 andererseits jeweils optisch konjugierte Punkte.

In Fig. 2 ist schematisch ein Ausschnitt des ersten Abschnitts 9 des Reflexionsgitters 7 in Draufsicht gezeigt, wobei die schwarz gezeichneten Linien in der Trägerplatte 8 gebildete Vertiefungen darstellen. Die Linienverteilung (bzw. die Linienkrümmung) des ersten Abschnitts
10 9 ist dabei in einer ersten Richtung R1 unsymmetrisch, während sie in einer zweiten Richtung R2 (senkrecht zur ersten Richtung R1) symmetrisch ist. Der erste Abschnitt 9 ist bezüglich einer Mittellinie ML, auf der der Mittelpunkt M liegt und die sich entlang der zweiten Richtung R2 erstreckt, symmetrisch zum zweiten Abschnitt 10 (in Fig. 2 nicht gezeigt) ausgebildet und angeordnet.

15 Zur Messung wird der Drehspiegel 5 mit dem kollimierten Strahlen 2 beaufschlagt, wobei der Drehspiegel 5 über den gesamten Schwenkbereich 13 gedreht wird, so daß zeitlich aufeinander folgend der Punkt P mit Meßstrahlen mit unterschiedlichen Einfallswinkeln beaufschlagt wird. Die Intensität der daraufhin von der Probe 11 ausgehenden Probenstrahlen
20 (hier im wesentlichen des spekularen Reflexes) in Abhängigkeit der Drehstellung des Drehspiegels 5 und somit in Abhängigkeit des Einfallswinkels wird aufgrund der Abbildungseigenschaft des zweiten Abschnitts 10 mittels des Detektors 6 erfaßt, so daß die Intensität der Probenstrahlen (hier hauptsächlich nullten Beugungsordnung) als Funktion des Einfallswinkels (was auch als optische Signatur des Probenpunktes bzw. der Probe bezeichnet
25 wird) erfaßt werden kann.

Wenn eine periodische Struktur der Probe 11 im Probenpunkt P gemessen werden soll, wird der Bündeldurchmesser der einfallenden Meßstrahlen (die Fokussierung) bevorzugt so gewählt, daß er zumindest einige Perioden der Struktur beleuchtet. Bei der Halbleiterfertigung
30 kann die Periode solcher Strukturen (wie z.B. voneinander beabstandete Linien, die eine vorbestimmte Breite und Höhe sowie einen vorbestimmten Flankenwinkel bei richtiger Prozeßführung aufweisen sollen) 150 nm betragen, so daß dann ein Bündeldurchmesser von einigen 10 µm angestrebt wird. In Abhängigkeit der Probengeometrie (die sich aufgrund von z.B. Prozeßschwankungen ändert) ändert sich auch die gemessene optische Signatur, so daß
35 ausgehend von der gemessenen optischen Signatur durch bekannte Verfahren (wie z.B. neuronale Netze) auf die tatsächlichen Werte der gewünschten Parameter (wie z.B. Linienbreite, Linienhöhe, Flankenwinkel) zurück geschlossen werden kann.

Bei einer weiteren Ausgestaltung (nicht gezeigt) der erfindungsgemäßen Meßanordnung ist eine bewegbare Blende bzw. Strahlfalle zwischen der Probe 11 und dem Detektor 6 angeordnet, die in Abhängigkeit von der Drehstellung des Spiegels 5 so geführt wird, daß der spekulare Reflex abgeschattet wird und daher nicht in den Detektor trifft. Damit können höhere

5 Beugungsordnungen der Probenstrahlen erfaßt werden. Natürlich kann die Blende auch so ausgebildet und bewegt werden, daß nur der spekulare Reflex auf den Detektor trifft. In diesem Fall werden die höheren Beugungsordnungen der Probenstrahlen ausgeblendet, so daß sichergestellt werden kann, daß ausschließlich der spekulare Reflex erfaßt wird.

10 Wenn mit der erfindungsgemäßen Meßanordnung auch noch eine orts aufgelöste Messung durchgeführt werden soll, wird der Abstand der Probe 11 zum Reflexionsgitter 7 bevorzugt so eingestellt, daß die Meßstrahlen (bzw. die Meßstrahlbündel) auf der Probe 11 eine möglichst geringen Durchmesser aufweisen (die Fokussierung ergibt somit einen möglichst geringen Bündeldurchmesser im Probenpunkt). Die Probe 11 wird dann nach jeder Messung, die in der

15 oben beschriebenen Weise durchgeführt wird, jeweils in der Meßebe 12 bewegt, so daß die Ortsauflösung der Signatur durch die Bewegung der Probe erzeugt wird. Die Bewegung der Probe 11 wird beispielsweise mittels eines Probentisches (nicht gezeigt), auf dem die Probe 11 gehalten ist, durchgeführt, wobei der Probentisch auch gleich zur Einstellung des Abstands der Probe 11 zum Reflexionsgitter 7 verwendet werden kann. Alternativ ist es natürlich auch

20 möglich, die gesamte Meßanordnung relativ zur Probenebene 12 zu bewegen, oder beide Bewegungen zu kombinieren.

Damit das Reflexionsgitter 7 einen sehr hohen Beugungswirkungsgrad in Reflexion aufweist, besteht es und der Träger 8 entweder aus einem gut reflektierenden Material oder aber die

25 Oberfläche des 8 ist mit einem gut reflektierenden Material beschichtet. So kann das Reflexionsgitter 7 beispielsweise aus Aluminium oder für längere Wellenlängen auch aus Halbleiternmaterialien (wie z.B. Germanium oder Silizium) gebildet sein. Alternativ kann der Träger aus PMMA, Photoresist, Glas oder Quarzglas bestehen, der eine strukturierte Seite aufweist, die mit einer Beschichtungsschicht, z.B. Gold, versehen ist.

30 Das Reflexionsgitter 7 kann holografisch wie folgt hergestellt werden. Auf einer für die Wellenlänge von 457,9 nm transparenten, planparallelen Platte 20 ist eine für diese Wellenlänge empfindliche Lackschicht 21 aufgebracht (Fig. 3). Zur Belichtung werden zwei von den Punkten 22 und 23 ausgehende Laserlichtwellen (Kugelwellen mit einer Wellenlänge

35 von 457,9 nm) erzeugt, die in der Lackschicht 21 mit einer gegenläufigen auf den Punkt 24 zulaufenden Laserlichtwelle (Kugelwelle mit einer Wellenlänge von 457,9 nm) interferieren und dadurch in der Lackschicht 21 die latente Gitterstruktur des zu bildenden Gitters erzeugen. Die

Punkte 22, 23 und 24 entsprechen in ihrer Anordnung zueinander und zur Lackschicht 21 dabei den Punkten S, D und P der in Fig. 1 gezeigten Meßanordnung.

- Die so in der Lackschicht 21 erzeugte latente Gitterstruktur wird z.B. in einem naßchemischen Entwicklungsprozeß in ein Oberflächenrelief überführt, wodurch aufgrund der beschriebenen Belichtung ein Blaze-Gitter gebildet ist. Die Beschichtung mit einer reflektierenden Schicht, wie z.B. Gold oder Aluminium führt zum Reflexionsgitter 7. Andererseits kann das Oberflächenrelief des Blaze-Gitters in der Lackschicht als Maske für geeignete Strukturierungsverfahren (z.B. Ionenstrahlätzen) dienen, um das Gitterprofil in das stabilere Material der Trägerplatte 20 zu übertragen. Nach der Übertragung werden Reste der Lackschicht 21, die eventuell noch vorhanden sind, entfernt und die strukturierte Trägerplatte 20 wird mit einer reflektierenden Schicht, wie z. B. Gold, Aluminium oder eine sonstige Metallschicht, beschichtet, so daß das Reflexionsgitter 7 fertiggestellt ist.
- Die Gitterflanken des holografisch hergestellten Reflexionsgitters 7 sind stetig, so daß vorteilhaft so gut wie kein diffuses Streulicht auftritt.

Die Strukturierung kann auch durch Elektronenstrahl-Lithographie oder sonstige geeignete Mikrostrukturierungsverfahren erfolgen.

- In einer weiteren Ausführungsform weist die erfindungsgemäße Meßanordnung einen Polarisator 14 auf, der in den parallelen Strahlengang zwischen der Lichtquelle 1 und der Linse 3 eingeführt werden kann, wie durch die gestrichelte Darstellung des Polarisators 14 und den Doppelpfeil A in Fig. 1 angedeutete ist. Somit wird der Umlenkspiegel 5 mit polarisiertem Licht (z.B. linear polarisiertes Licht) beaufschlagt. Zur Auswertung der Änderung des Polarisationszustandes wird der Detektor 6 dann als Vierquadrantendetektor ausgebildet, dem ein Polarisationsmosaikfilter 15 (Fig. 4) vorgeschaltet ist.

- Der Polarisationsmosaikfilter 15 weist vier quadratische Felder 16, 17, 18, 19 auf, die jeweils einem der vier Quadranten des Vierquadrantendetektors zugeordnet sind. Die Abschnitte 16, 17, 18 sind jeweils mit einem feinen Metallgitter versehen, deren Gitterperiode kleiner als die Wellenlänge des kohärenten Strahls 2 ist, so daß nur das Licht durchgelassen wird, das senkrecht zu den schematisch eingezeichneten Gitterlinien polarisiert ist. Somit können mit den entsprechenden Quadranten des Vierquadrantendetektors, die den Abschnitten 16, 17, 18 nachgeschaltet sind, Informationen über den Polarisationszustand des von der Probe reflektierten Lichtes gewonnen werden. Da der vierte Abschnitt 19 unstrukturiert ist, läßt er das Licht unabhängig von seinem Polarisationszustand durch, so daß der dem Abschnitt 19

zugeordnete Quadrant des Vierquadrantendetektors zur photometrischen Messung verwendet wird.

5 Damit kann mit der erfindungsgemäßen Meßanordnung zusätzlich zur winkelaufgelösten Photometrie auch noch eine winkelaufgelöste Ellipsometrie durchgeführt werden.

Als Alternative zum festem Profil des Reflexionsgitters kann auch ein schaltbares, diffraktives Element (nicht gezeigt) eingesetzt werden, das in gleicher bzw. ähnlicher Weise wie das beschriebene Reflexionsgitter 7 wirkt. Im Unterschied zum Reflexionsgitter 7 kann mit dem schaltbaren Element die Gitterstruktur an unterschiedliche Wellenlängen angepaßt werden.

15 Statt einer monochromatischen Lichtquelle wird dann eine polychromatische Lichtquelle (z. B. eine Quecksilberlampe) mit nachgeordnetem, variablem Monochromator (z. B. ein Prisma oder ein Gitter) eingesetzt.

Die Messung kann dann so durchgeführt werden, daß zuerst eine vorbestimmte Wellenlänge eingestellt wird und für diese Wellenlänge das schaltbare, diffraktive Element derart angesteuert wird, daß das Gitter für die vorbestimmte Wellenlänge vorliegt, mit dem die gewünschte Abbildung durchgeführt werden kann.

20 Danach wird der Drehspiegel in der vorher beschriebenen Art und Weise gedreht und die Messung durchgeführt. Nach der Messung für die erste Wellenlänge wird eine zweite Wellenlänge eingestellt und auch das diffraktive Element wird auf die zweite Wellenlänge eingestellt, wobei dann wiederum der Dreh- bzw. Schwenkspiegel geschwenkt wird. Somit kann eine spektrale und winkelabhängige Messung der Intensität durchgeführt werden. Werden auch noch der Polarisator 14 und der oben beschriebene Vierquadrantendetektor mit dem Polarisationsmosaikfilter 15 eingesetzt, so kann zusätzlich noch eine spektrale und winkelaufgelöste Ellipsometrie durchgeführt werden.

30 Als schaltbares, diffraktives Element können räumliche Lichtmodulatoren, wie z.B. reflektive LCD-Module oder reflektive Kippspiegelmatrizen, eingesetzt werden. Alternativ können auch räumliche Lichtmodulatoren in Transmission, wie z.B. transmissive LCD-Module, eingesetzt werden. Die räumliche Auflösung der schaltbaren, diffraktiven Elemente sollte bevorzugt kleiner als ein Viertel der Arbeitswellenlänge betragen.

35 Da die Sensitivität (die Änderung der optischen Signatur in Abhängigkeit einer Änderung des zu untersuchenden Parameters, wie z.B. Breite und Höhe von parallelen Linien) nicht für alle Wellenlängen der Meßstrahlen und für alle Einfallswinkel der Meßstrahlen gleich ist, sondern

- sehr stark vom jeweiligen Probentyp (z.B. Photoresist auf Silizium, geätztes Silizium, geätztes Aluminium) und den jeweiligen Geometrien (z.B. ein- oder zweidimensionale Wiederholstrukturen) abhängt. werden der Monochrometer und der Drehspegel durch eine Steuereinheit (nicht gezeigt) bevorzugt derart angesteuert, daß für jede Wellenlänge nur die relevanten Einfallswinkel oder auch der relevante Einfallswinkelbereich eingestellt werden. Damit kann vorteilhaft die Meßzeit verkürzt werden.
- 5

Ansprüche

- 10 1. Meßanordnung mit einer Strahlungsquelle (1), einer dieser nachgeordneten
Ablenkeinrichtung (5), die mit einem von der Strahlungsquelle (1) ausgehenden Strahl (2)
beaufschlagbar ist und diesen zeitlich nacheinander in unterschiedliche Richtungen ablenkt,
und weiter mit einer ersten und einer zweiten Optikeinrichtung (9, 10) sowie einem Detektor
15 (6), wobei die erste Optikeinrichtung (9) die von der Ablenkeinrichtung (5) kommenden
Strahlen jeweils als Meßstrahl auf einen Punkt (P) einer in einer Meßposition anzuordnenden
Probe (11) derart umlenkt, daß der Einfallswinkel des Meßstrahls auf die Probe (11) in
Abhängigkeit von der Richtung variiert, und wobei von der Probe aufgrund der
Wechselwirkung der Meßstrahlen mit der Probe ausgehende Probenstrahlen mittels der
20 zweiten Optikeinrichtung (10) auf den Detektor (6) umgelenkt werden, dadurch
gekennzeichnet, daß zumindest eine der beiden Optikeinrichtungen (9, 10) ein diffraktives
Element (7) zur Umlenkung aufweist, das die aus unterschiedlichen Richtungen einfallenden
Strahlen derart beugt, daß die gebeugten Strahlen einer vorbestimmten Beugungsordnung in
einen Punkt (P, D) fokussiert werden.
- 25 2. Meßanordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das diffraktive
Element (7) als reflektives Element ausgebildet ist.
3. Meßanordnung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß das diffraktive
Element (7) der ersten und der zweiten Optikeinrichtung als ein einziges Element ausgebildet
30 ist.
4. Meßanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß das
diffraktive Element (7) auf einer planen Seite eines Trägers (8) ausgebildet ist.
- 35 5. Meßanordnung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Träger (8) eine
planparallele Platte ist.
6. Meßanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß das
diffraktive Element (7) ein Phasengitter ist.

7. Meßanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß das diffraktive Element (7) ein Blaze-Gitter ist.
8. Meßanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, die
5 Umlenkeinrichtung einen schwenkbaren Spiegel (5) umfaßt.
9. Meßanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden diffraktiven Elemente (9, 10) der beiden Optikeinrichtungen symmetrisch zu einer Mittellinie (ML) angeordnet sind, wobei die diffraktiven Elemente (9, 10) jeweils symmetrisch in
10 einer ersten Richtung (R1) senkrecht zur Mittellinie (ML) und asymmetrisch in einer zweiten Richtung (R2), die parallel zur Mittellinie (ML) ist, ausgebildet sind.
10. Meßanordnung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Ablenkeinrichtung (5) und der Detektor (6) symmetrisch zu einer Linie, die senkrecht zur Mittellinie (ML) verläuft
15 und auf der der Probenpunkt liegt, angeordnet sind.
11. Meßanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß das diffraktive Element (7) ein schaltbares Gitter aufweist, das entsprechend der Wellenlänge des auf das Ablenkelement (5) treffenden Strahls (2) einstellbar ist.
20
12. Meßanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Strahlungsquelle (1) als polychromatische Strahlungsquelle ausgebildet ist, der ein einstellbarer Monochromator nachgeordnet ist.
- 25 13. Meßanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen der Strahlungsquelle (1) und der Ablenkeinrichtung (5) ein Polarisator (14) angeordnet ist, der bewirkt, daß der auf die Ablenkeinrichtung (5) treffende Strahl (2) einen vorbestimmten Polarisationszustand aufweist, und wobei der Detektor (6) mehrere, unabhängig voneinander auslesbare Detektorpixel aufweist, denen Analysatoren (16; 17; 18)
30 mit unterschiedlichen Durchlassrichtungen zugeordnet sind.
14. Meßanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß eine Blende im Strahlengang von der Probe (11) bis zum Detektor (6) angeordnet ist, deren Position zeitlich nacheinander in Abhängigkeit von der Ablenkung der Ablenkeinrichtung derart
35 veränderbar ist, daß Probenstrahlen einer vorbestimmten Beugungsordnung abgeschattet werden.

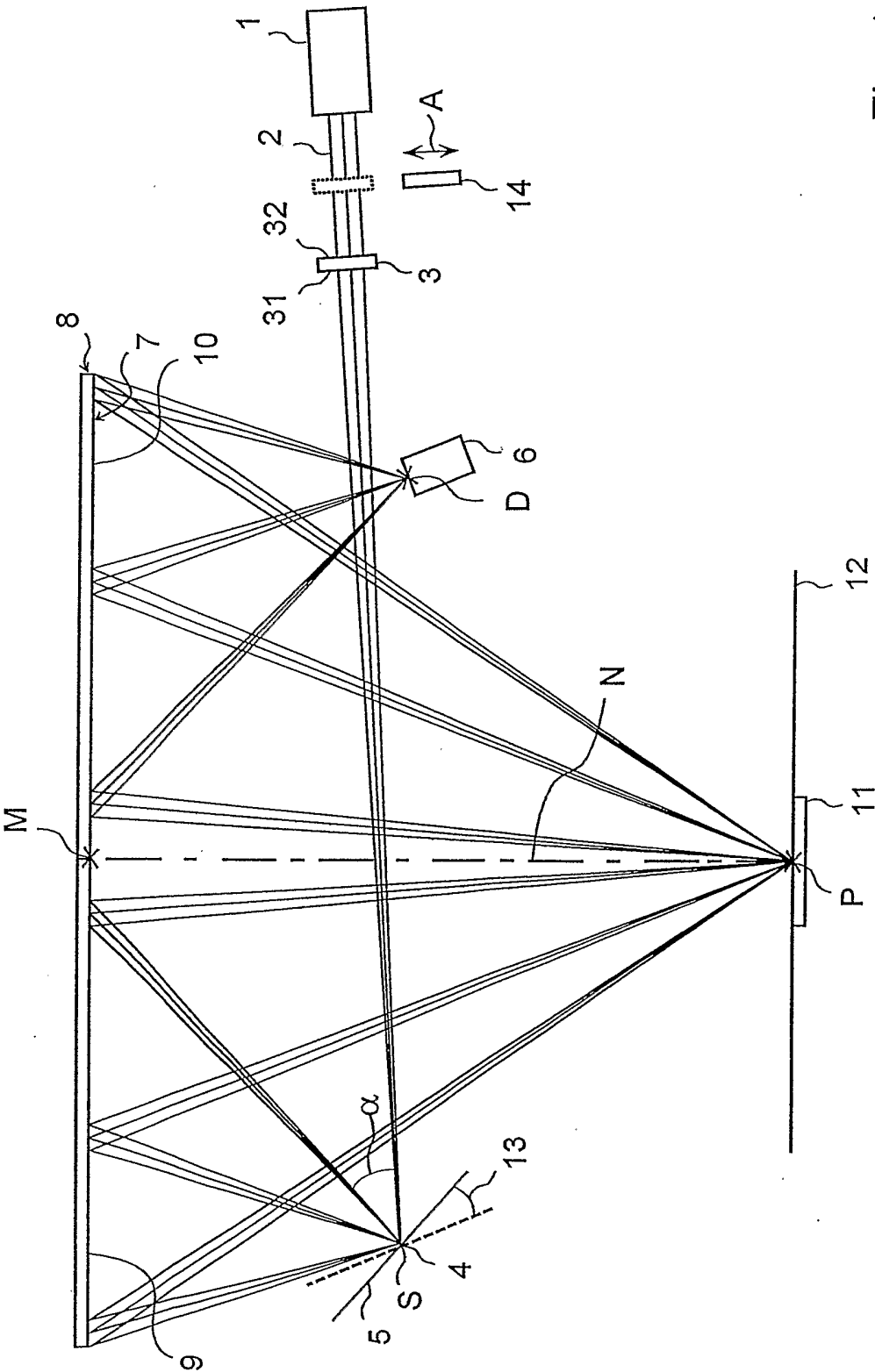


Fig. 1

2/4

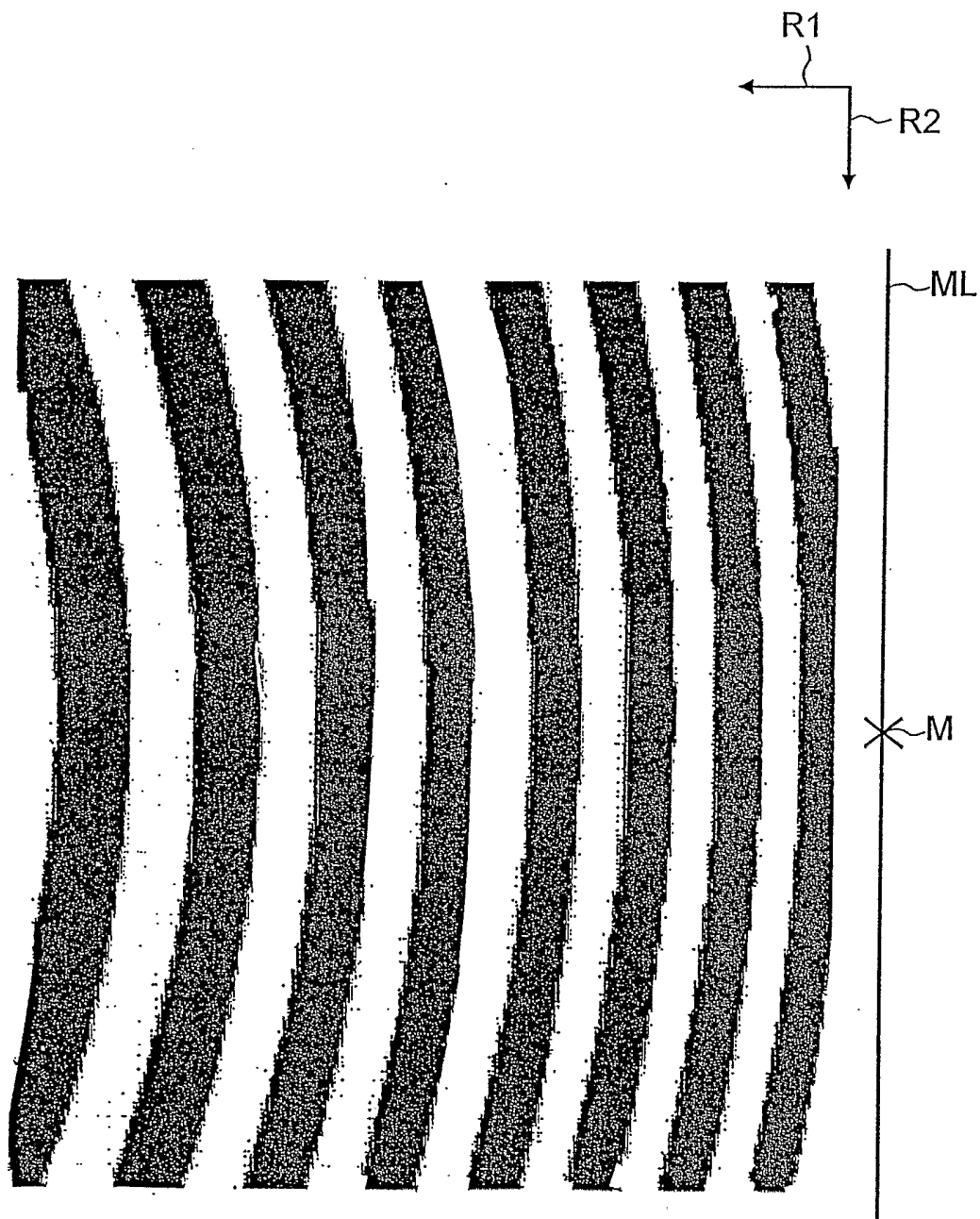


Fig. 2

3/4

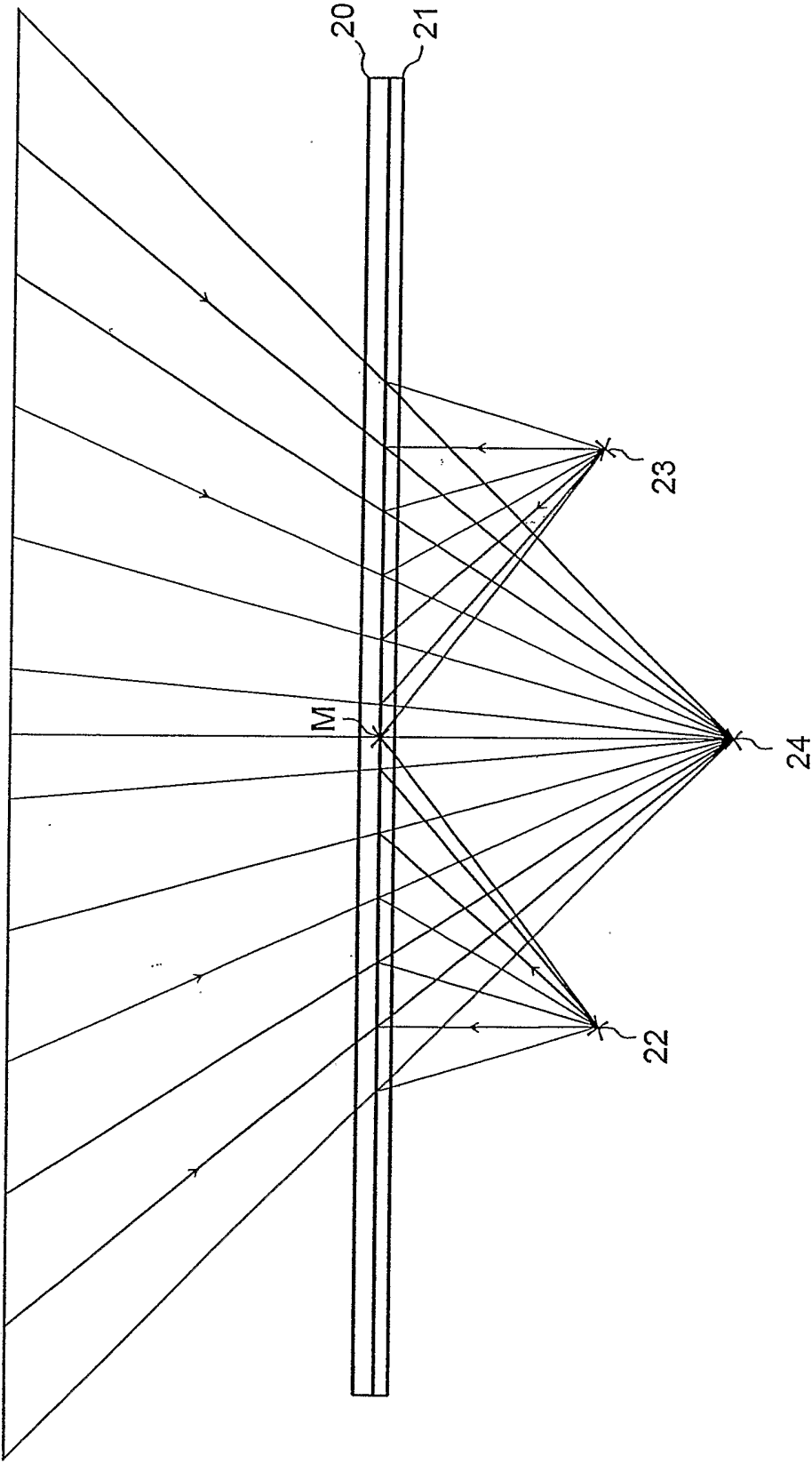


Fig. 3

4/4

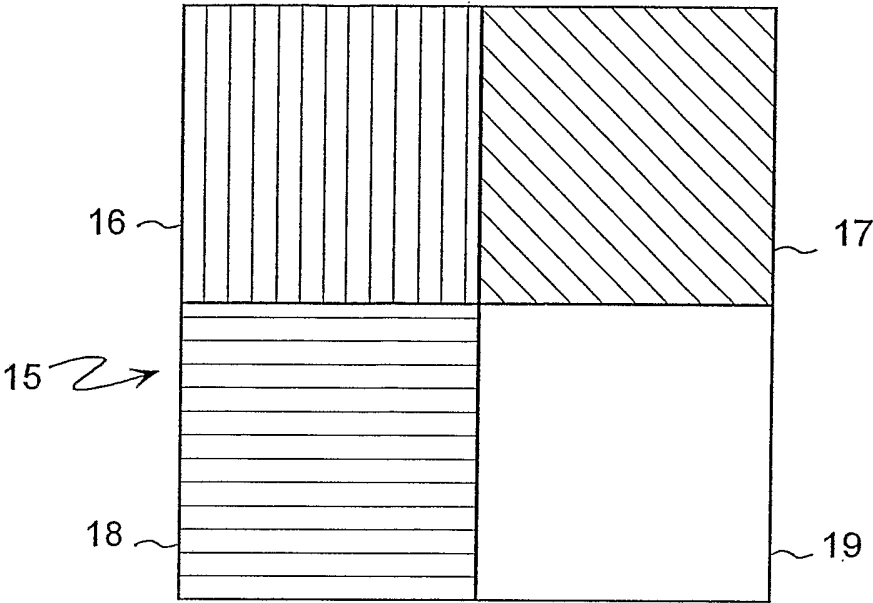


Fig. 4