



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 698 31 721 T2** 2006.07.06

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 0 927 883 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **698 31 721.1**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/JP98/03200**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **98 932 551.9**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 1999/004249**

(86) PCT-Anmeldetag: **16.07.1998**

(87) Veröffentlichungstag

der PCT-Anmeldung: **28.01.1999**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **07.07.1999**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **28.09.2005**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **06.07.2006**

(51) Int Cl.⁸: **G01N 21/88** (2006.01)
G01N 21/896 (2006.01)

(30) Unionspriorität:

19276397 **17.07.1997** **JP**

26345697 **29.09.1997** **JP**

29872797 **30.10.1997** **JP**

36033197 **26.12.1997** **JP**

(74) Vertreter:

Vossius & Partner, 81675 München

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE, FR, GB

(73) Patentinhaber:

HOYA Corp., Tokio/Tokyo, JP

(72) Erfinder:

**TANABE, Masaru, Nakakoma-gun, Yamanashi-ken
400-0113, JP**

(54) Bezeichnung: **VERFAHREN ZUM UNTERSUCHEN EINER UNGLEICHMÄSSIGKEIT EINES TRANSPARENTEN MATERIALS**

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

Technisches Gebiet

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Untersuchen von optischen Ungleichmäßigkeiten (Defekten) eines transparenten Materials in der Art eines Glassubstrats, das als ein transparentes Substrat für eine Photomaske oder ein transparentes Substrat für ein Informationsaufzeichnungsmedium dient. Die Erfindung betrifft insbesondere ein Verfahren zum Inspizieren von Ungleichmäßigkeiten bzw. Unregelmäßigkeiten eines transparenten Materials, wobei die Ungleichmäßigkeit des transparenten Materials mit hoher Empfindlichkeit und hoher Geschwindigkeit unter Verwendung der Totalreflexionseigenschaften an der Oberfläche des transparenten Materials erfasst werden kann.

Stand der Technik

[0002] Bei einem Prozess zur Herstellung einer integrierten Halbleiterschaltung, einer Photomaske oder dergleichen wird ein Photolithographieverfahren zur Bildung eines feinen Musters verwendet. Wenn die integrierte Halbleiterschaltung hergestellt wird, wird beispielsweise ein Muster durch die Verwendung einer Photomaske, deren Muster durch einen transparenten Film (beispielsweise einen Chromfilm) gebildet wurde, auf ein transparentes Substrat übertragen, das durch Polieren mit hoher Genauigkeit mit einer spiegelnden Oberflächenbeschaffenheit versehen wurde. Als ein Verfahren zum Inspizieren bzw. Untersuchen der Photomaske, die als ein Original des Musters bezeichnet werden kann, ist ein Verfahren zum Konvergieren von Licht auf einen feinen Bereich auf einer Musteroberfläche und zum Vergleichen einer Reflexionsausgabe und einer Transmissionsausgabe von der Musteroberfläche bekannt, wie in einer in der offen gelegten japanischen Patentanmeldung 58-162038 (1983) offenbarten Oberflächenzustands-Inspektionsvorrichtung dargestellt ist.

[0003] In den letzten Jahren wurde jedoch in Zusammenhang mit der Verwirklichung einer hohen Musterdichte, zusätzlich zu der Inspektion für die Musteroberfläche ähnlich dem vorstehenden Verfahren, ein feiner Defekt des transparenten Substrats selbst, das durch Polieren mit hoher Genauigkeit mit einer spiegelnden Oberflächenbeschaffenheit versehen wurde, als ein Ziel für die Defekterfassung angesehen. Weil bei dem vorstehend erwähnten Verfahren das Licht auf den feinen Bereich auf der Musteroberfläche konvergiert wird, ist es, wenn sich der Inspektionsbereich über ein breites Gebiet erstreckt, erforderlich, das Licht unter Verwendung irgendeiner Einrichtung zu tasten, ist eine zur Fläche des Inspektionsbereichs proportionale lange Inspektionszeit erforderlich und ist die Änderung der Lichtmenge des

reflektierten Lichts und des durchgelassenen Lichts für das Muster selbst und das transparente Substrat, abhängig davon, ob der Defekt vorhanden ist oder nicht, nicht groß, so dass es schwierig ist, das Verfahren zur Erfassung feiner Defekte auf das transparente Substrat anzuwenden.

[0004] Weiterhin ist in Bezug auf ein transparentes Substrat für ein Informationsaufzeichnungsmedium in Hinblick auf die Bildung einer Unterschicht und einer magnetischen Schicht mit einer guten Kristallinität, die auf der Oberfläche des transparenten Substrats gebildet sind, das niedrige Schweben eines Magnetkopfs und dergleichen bei Verwirklichung einer hohen Aufzeichnungsdichte ein transparentes Substrat, dessen Oberfläche mit hoher Genauigkeit poliert ist, erforderlich, so dass der feine Defekt des transparenten Substrats selbst auch als ein Ziel für die Defekterfassung festgelegt wird. Existierende Defektinspektionsverfahren und Vorrichtungen erfüllen jedoch nicht notwendigerweise die Anforderung der Defekterfassung.

[0005] EP-A-497 649 betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Testen der Oberflächenqualität eines transmittierenden optischen Elements, insbesondere eines Fensters einer optronischen Beobachtungseinrichtung im sichtbaren und/oder infraroten Bereich. Bei diesem Verfahren wird ein gekennzeichnete Lichtfluss in das optische Element übertragen und in diesem Element eingesperrt und der aus dem Element austretende gekennzeichnete Lichtfluss gemessen, um das Element auf das Vorhandensein von Oberflächendefekten zu testen.

[0006] US-A-5 355 213 betrifft ein Inspektionssystem zum Erfassen von Oberflächenfehlern in einem transparenten Element, das eine Quelle elektromagnetischer Strahlung in der Art eines Laserstrahls oder sichtbaren Lichts aufweist, wobei der die Strahlung enthaltende Strahl von der Kante unter einem solchen Winkel in das zu inspizierende transparente Element gerichtet wird, dass der sich ergebende innere Winkel größer als der kritische Winkel ist. Dies gewährleistet, dass im Wesentlichen die gesamte Strahlung innerhalb des transparenten Elements bleibt und durch eine entgegengesetzte Kante des transparenten Elements austritt, es sei denn, dass ein Oberflächenfehler angetroffen wird, wobei in diesem Fall ein Teil der Strahlung durch die Oberfläche des transparenten Elements aus diesem austritt.

[0007] Eine Aufgabe der Erfindung besteht zum Lösen der vorstehenden Probleme daher darin, ein Verfahren zum Untersuchen bzw. Inspizieren von Ungleichmäßigkeiten eines transparenten Materials bereitzustellen, wodurch optische Ungleichmäßigkeiten des transparenten Materials mit hoher Genauigkeit und hoher Geschwindigkeit sicher erfasst werden können.

[0008] Eine weitere Aufgabe der Erfindung besteht darin, ein Verfahren zum Inspizieren von Ungleichmäßigkeiten eines transparenten Materials bereitzustellen, wodurch ein gewünschtes transparentes Material sofort entnommen werden kann.

[0009] Es zeigen:

[0010] [Fig. 1](#) ein schematisches Konstruktionsdiagramm, in dem eine Vorrichtung dargestellt ist, die zum Ausführen des erfindungsgemäßen Verfahrens geeignet ist,

[0011] [Fig. 2](#) einen Seitenriss, in dem ein Teil des transparenten Substrats in [Fig. 1](#) vergrößert ist,

[0012] [Fig. 3](#) eine perspektivische Ansicht, in der ein Beispiel eines Halters zum Halten des transparenten Substrats dargestellt ist,

[0013] [Fig. 4](#) ein durch die Inspektionsvorrichtung in [Fig. 1](#) erfasstes Bild eines Kratzers an der Oberfläche eines Glassubstrats,

[0014] [Fig. 5](#) ein Diagramm, in dem die durch einen Bildverarbeitungsprozess anhand von Lichtinformationen des Bilds aus [Fig. 4](#) erhaltene Lichtintensitätsverteilung in Breitenrichtung des Kratzers dargestellt ist,

[0015] [Fig. 6](#) ein Bild, wenn der Kratzer aus [Fig. 4](#) durch ein optisches Mikroskop (Reflexion-Hellfeld) betrachtet wird,

[0016] [Fig. 7](#) ein Diagramm, in dem die durch einen Bildverarbeitungsprozess anhand von Lichtinformationen des Bilds aus [Fig. 6](#) erhaltene Lichtintensitätsverteilung in Breitenrichtung des Kratzers dargestellt ist,

[0017] [Fig. 8](#) eine Graphik, in der die Erfassungsempfindlichkeit des erfindungsgemäßen Verfahrens mit derjenigen eines herkömmlichen Verfahrens verglichen ist und worin eine Beziehung zwischen dem Signal-Rausch-Verhältnis (nachstehend als S/N-Verhältnis bezeichnet) und der normierten Belichtungszeit dargestellt ist,

[0018] [Fig. 9](#) eine perspektivische Ansicht zum Erklären einer Simulation zum Erhalten einer Strahl-Ortskurve in dem transparenten Substrat, wenn ein Laserstrahl entlang einer Seite in das transparente Substrat eingeleitet wird,

[0019] [Fig. 10](#) ein Diagramm, in dem ein Beispiel eines durch die Simulation aus [Fig. 9](#) erhaltenen Ergebnisses dargestellt ist,

[0020] [Fig. 11](#) eine Graphik, in der eine Beziehung zwischen einem Einfallswinkel auf das transparente

Substrat und der Anzahl der Reflexionen an Flächen in [Fig. 10](#) dargestellt ist,

[0021] [Fig. 12](#) Graphiken der Strahl-Ortskurven, in denen durch die Simulation aus [Fig. 9](#) erhaltene Ausbreitungszustände des Lichts in dem transparenten Substrat dargestellt sind,

[0022] [Fig. 13](#) eine Graphik, in der eine Beziehung zwischen dem Einfallswinkel auf das transparente Substrat und der Anzahl der Reflexionen an den Flächen in einem weiteren Beispiel der Simulation aus [Fig. 9](#) dargestellt ist,

[0023] [Fig. 14](#) eine Graphik, in der die Beziehung zwischen dem Einfallswinkel auf das transparente Substrat und der Anzahl der Reflexionen an Flächen in dem anderen Beispiel der Simulation aus [Fig. 9](#) dargestellt ist,

[0024] [Fig. 15](#) eine Graphik, in der die Beziehung zwischen dem Einfallswinkel auf das transparente Substrat und der Anzahl der Reflexionen an Flächen in dem anderen Beispiel der Simulation aus [Fig. 9](#) dargestellt ist,

[0025] [Fig. 16](#) Graphiken von Strahl-Ortskurven, in denen Ergebnisse der Simulation der Ausbreitung des Lichts, wenn ein Laserstrahl in das transparente Substrat eingeleitet wird, dargestellt sind,

[0026] [Fig. 17](#) Diagramme, in denen durch eine Ungleichmäßigkeitsinspektion gemäß der Erfindung betrachtete Bilder, beispielsweise von Kratzern des transparenten Substrats dargestellt sind,

[0027] [Fig. 18](#) eine perspektivische Ansicht, in der ein Zustand dargestellt ist, in dem Laserstrahlen aus zwei Richtungen in das transparente Substrat eingeleitet werden,

[0028] [Fig. 19](#) ein schematisches Konstruktionsdiagramm, in dem eine Anordnung dargestellt ist, in der der Laserstrahl von einem Eckabschnitt des transparenten Substrats eingeleitet wird,

[0029] [Fig. 20](#) eine perspektivische Ansicht, in der eine Anordnung dargestellt ist, in der Laserstrahlen aus derselben Einfallsposition in mehreren verschiedenen Richtungen in das transparente Substrat eingeleitet werden,

[0030] [Fig. 21](#) ein Flussdiagramm, in dem ein Inspektionsprozess zum Trennen guter und schlechter transparenter Substrate voneinander dargestellt ist,

[0031] [Fig. 22](#) ein Diagramm zum Erklären eines ersten Beispiels, in dem ein Verfahren zum Auswählen eines transparenten Substrats unter Verwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens auf ein Glassub-

strat für eine Photomaske angewendet wird,

[0032] [Fig. 23](#) ein Diagramm, in dem eine durch den Bildverarbeitungsprozess anhand durch das in [Fig. 22](#) erklärte Inspektionsverfahren erfasster Lichtinformationen eines Bilds des Kratzers an der Oberfläche des Glassubstrats erhaltene Lichtintensitätsverteilung in Breitenrichtung eines Kratzers dargestellt ist,

[0033] [Fig. 24](#) ein Diagramm zum Erklären eines zweiten Beispiels, in dem das Verfahren zum Auswählen des transparenten Substrats unter Verwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens auf ein Glassubstrat für eine Magnetplatte angewendet wird,

[0034] [Fig. 25](#) ein Diagramm zum Erklären eines Inspektionsverfahrens aus [Fig. 24](#),

[0035] [Fig. 26](#) Diagramme, in denen eine weitere Ausführungsform für die erfindungsgemäße Ungleichmäßigkeitsinspektion dargestellt ist,

[0036] [Fig. 27](#) ein Diagramm, in dem eine Lichtbrechung an Grenzflächen mit verschiedenen Brechungsindizes dargestellt ist,

[0037] [Fig. 28](#) ein Diagramm, das zum Erhalten von Totalreflexionsbedingungen an der Oberfläche eines transparenten Materials verwendet wird, und

[0038] [Fig. 29](#) ein Diagramm, in dem ein Bereich dargestellt ist, der die Totalreflexionsbedingungen erfüllt, unter denen das Licht durch mehrfache Totalreflexion in einem rechtwinkligen transparenten Material eingesperrt wird.

Offenbarung der Erfindung

[0039] Gemäß der Erfindung ist ein Verfahren zum Untersuchen bzw. Inspizieren einer Ungleichmäßigkeit eines transparenten Materials durch Einleiten eines Laserstrahls in das transparente Material vorgesehen, wobei das transparente Material aufweist: mindestens ein Paar totalreflektierender Flächen, an denen der in das transparente Material eingeleitete Laserstrahl die Totalreflexion wiederholt, und welche einander gegenüberstehen, und mindestens ein Paar von Wendeflächen, welche so angeordnet sind, dass sie einander in der Laufrichtung des Laserstrahls gegenüberstehen, welche die Totalreflexion zwischen den totalreflektierenden Flächen fortsetzen und welche das Laserlicht totalreflektieren und zu den totalreflektierenden Flächen zurückführen und weiterlaufen lassen, wenn der optische Weg in dem transparenten Material optisch gleichmäßig ist, wobei der Laserstrahl so eingeleitet wird, dass sich der Laserstrahl, der sich in dem transparenten Material ausbreitet und auf die totalreflektierenden Flächen und die Wendeflächen des transparenten Materials fällt,

so ausbreitet, dass er totalreflektiert wird und zwischen zumindest dem Paar von Wendeflächen wiederholt wird, und wobei der Laserstrahl in einem Inspektionsbereich, der durch die Ausbreitung gebildet ist und von den totalreflektierenden Flächen und den Wendeflächen umgeben ist, ausgebreitet wird, und wenn in dem optischen Weg des Laserstrahls, der in das transparente Material eingeleitet wurde und sich darin fortpflanzt, ein ungleichmäßiger Abschnitt existiert, Licht, das aus den totalreflektierenden Flächen und/oder den Wendeflächen herausleckt bzw. abweicht, detektiert wird, wodurch eine Ungleichmäßigkeit des transparenten Materials inspiziert wird.

[0040] Wenn es keinen ungleichmäßigen Abschnitt in der Art eines Kratzers an der Oberfläche des transparenten Materials gibt, wiederholt der in das transparente Material geführte Laserstrahl die Totalreflexion an der Oberfläche und wird in dem transparenten Material eingesperrt (der Laserstrahl wird ausgebreitet), so dass das Licht nicht erheblich nach außen leckt (an den totalreflektierenden Flächen und den Wendeflächen). Wenn der ungleichmäßige Abschnitt in dem transparenten Material existiert, sind die Totalreflexionsbedingungen jedoch nicht erfüllt, und das Licht leckt aus der Oberfläche des transparenten Materials. Das heißt, dass, wenn der ungleichmäßige Abschnitt (Defekt) in der Art eines Kratzers, Risses und Flecks infolge anhaftender Fremdstoffe an der Oberfläche des transparenten Materials existiert, das Licht aus den Flächen (den totalreflektierenden Flächen und den Wendeflächen) herausleckt, solange der optische Weg gleichmäßig ist. Zusätzlich zur Ungleichmäßigkeit der Oberfläche des transparenten Materials sei auch in Bezug auf die Erfassung eines Defekts in der Art eines inneren Kratzers, Risses oder von Fremdstoffen in der Art von Blasen oder eines Defekts des Glases, wobei die Transmission gleich ist, jedoch der Brechungsindex verschieden ist, was für Schlieren des Glases besonders ist, bemerkt, dass Licht den optischen Weg (Durchgang) verlässt, durch den das Licht natürlicherweise läuft, falls der Weg gleichmäßig ist, die Totalreflexionsbedingungen an der Oberfläche in dem Kratzer oder einem Abschnitt, in dem der Brechungsindex verschieden ist, nicht erfüllt sind, und das Licht aus dem transparenten Material herausleckt, so dass es erfasst werden kann.

[0041] Wie vorstehend erwähnt wurde, ist beim Inspektionsverfahren gemäß der Erfindung das Ansprechen auf Inspektionslicht in den ungleichmäßigen und gleichmäßigen Abschnitten des transparenten Materials als ein Inspektionsobjekt auch kritisch, weil das Licht durch die Verwendung der geometrischen und optischen Totalreflexion, die als ein physikalisch kritisches Phänomen dient, (im Wesentlichen) in dem transparenten Material eingesperrt wird, so dass die Ungleichmäßigkeit als ein dramatischer Kontrast erscheint. Das heißt, dass das erfindungs-

gemäße Inspektionsverfahren als ein Inspektionsverfahren für Defekte (Ungleichmäßigkeiten) durch ein Lichteinsperrverfahren bezeichnet werden kann. Ein Defekt in der Art eines sehr feinen Kratzers des transparenten Materials wird beobachtet, wenn Licht in einem Abschirmungsgehäuse in der Art eines schwarzen Kastens aus einem im Kasten vorhandenen Stiftloch herausleckt.

[0042] Die Einfallsbedingungen für das Wiederholen der Totalreflexion des Lichts an der Oberfläche des transparenten Materials, so dass das Licht in dem transparenten Material (im Wesentlichen) eingesperrt wird, werden nachstehend erhalten. Die Bedingungen für das (im Wesentlichen erfolgende) Einsperren des Lichts durch die mehrfache Totalreflexion in einem rechtwinkligen transparenten Material in der Art eines transparenten Substrats werden nun erhalten.

[0043] Vor dem Erhalten der Bedingungen für das Einsperren des Lichts wird zuerst, wie in [Fig. 27](#) dargestellt ist, die Richtung des gebrochenen Lichts, wenn das Licht auf ein Medium in der Art von Glas mit einer Transparenz und einem Brechungsindex n_t von einem Medium, wie Luft, mit einem Brechungsindex n_i einfällt, erhalten (wenngleich ein Vektor in dem Diagramm durch einen senkrechten Pfeil ausgedrückt ist, wird ein Vektor A in dem Dokument als $\langle A \rangle$ ausgedrückt).

[0044] Wie in [Fig. 27](#) dargestellt ist, wird ein gebrochener Strahl $\langle Lt \rangle$ betrachtet, wenn ein einfallender Strahl $\langle Li \rangle$ auf eine Grenzfläche zwischen den Brechungsindizes n_i und n_t fällt. Ein Solventenvektor, der zur Grenzfläche senkrecht steht und zur Seite eines Einfallsmediums gerichtet ist, ist mit $\langle N \rangle$ bezeichnet (Einheitsvektor). Der Vektor $\langle Lt \rangle$ des gebrochenen Strahls existiert auf der ebenen Fläche, die durch die Vektoren $\langle N \rangle$ und $\langle Li \rangle$ aufgespannt ist, und kann durch eine Linearkombination von $\langle N \rangle$ und $\langle Li \rangle$ ausgedrückt werden. Das heißt, dass er folgendermaßen ausgedrückt werden kann:

$$\langle Lt \rangle = \alpha \langle Li \rangle + \beta \langle N \rangle \quad (1)$$

[0045] Hierbei sind α und β Koeffizienten. Zum Vereinfachen der Berechnung sind die folgenden Gleichungen erfüllt, wenn angenommen wird, dass die Vektoren $\langle Li \rangle$ und $\langle Lt \rangle$ Einheitsvektoren sind.

$$\langle Li \rangle \cdot \langle Li \rangle = 1, \langle Lt \rangle \cdot \langle Lt \rangle = 1 \quad (2)$$

[0046] Wenn das Brechungsgesetz (Snellsches Gesetz) auf die Brechung an der Grenzfläche angewendet wird, ergibt sich

$$\sin \theta_t = (n_i/n_t) \sin \theta_i, \quad (3)$$

weil der Einfallswinkel θ_i ist und der Brechungswinkel

θ_t ist. Wenn θ_i und θ_t durch Vektoren ausgedrückt werden, ergibt sich

$$\begin{aligned} \langle Li \rangle \cdot \langle N \rangle &= |\langle Li \rangle| |\langle N \rangle| \cos(\pi - \theta_i) \\ &= -\cos \theta_i \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \langle Lt \rangle \cdot \langle N \rangle &= |\langle Lt \rangle| |\langle N \rangle| \cos(\pi - \theta_t) \\ &= -\cos \theta_t \end{aligned} \quad (5)$$

[0047] Ein Objekt, das nun erhalten wird, ist der Vektor $\langle Lt \rangle$ des gebrochenen Strahls. Wenn α und β aus der Gleichung (1) bestimmt werden, wird $\langle Lt \rangle$ festgelegt. Wenn daher α und β unter Verwendung von n_i , n_t und θ_i aus den Gleichungen (1) bis (5) ausgedrückt werden, ergibt sich

$$\alpha = n_i/n_t$$

$$\beta = -\{1 - (n_i/n_t)^2(1 - \cos^2 \theta_i)\}_{1/2} + (n_i/n_t) \cos \theta_i$$

[0048] Die Richtung des gebrochenen Strahls $\langle Lt \rangle$ in Bezug auf den einfallenden Strahl $\langle Li \rangle$ wird bestimmt.

[0049] Anschließend werden Bedingungen, unter denen der in der vorgegebenen Richtung eingeleitete gebrochene Strahl, wie vorstehend erwähnt wurde, die Totalreflexion an der Oberfläche des rechtwinkligen transparenten Materials wiederholt und in dem transparenten Material eingeschlossen wird, erhalten.

[0050] Zuerst wird die xy -Ebene als eine erste Grenzfläche der Totalreflexion betrachtet. Wie in [Fig. 28](#) dargestellt ist, ist die folgende Gleichung erfüllt, wenn angenommen wird, dass ein Normalenvektor in positiver Richtung der z -Achse auf $\langle Nz \rangle = (0, 0, 1)$ gelegt ist und ein Einfallsvektor $\langle L1 \rangle$ (Einheitsvektor) = $(L1x, L1y, L1z)$ unter dem Einfallswinkel θ_i auf die xy -Ebene fällt.

$$\langle Li \rangle \cdot \langle Nz \rangle = \cos(\pi - \theta_i)$$

[0051] Wenn die Gleichung entwickelt wird, ergibt sich

$$L1z = -\cos \theta_i$$

[0052] Weil $|\langle L1 \rangle| = 1$, ist die folgende Gleichung erfüllt, wenn $\theta_i \geq \theta_c$ ist.

$$L1x^2 + L1y^2 + \cos^2 \theta_i = 1 \quad (6)$$

[0053] Es ist ausreichend, dass der Einfallsvektor, der an der xy -Ebene der ersten Grenzfläche totalreflektiert werden kann, außerhalb eines in [Fig. 28](#) dargestellten kreisförmigen Kegels existiert, der durch Drehen einer Geraden, welche einen kritischen Winkel θ_c mit der z -Achse bildet, um die z -Achse erhalten wird. Die Vektoren, welche die vorstehend erwähnten

Bedingungen erfüllen können, existieren unendlich.

[0054] Weil der Vektor an der xy-Ebene reflektiert wird, ist der Vektor $\langle L2 \rangle$ nach Abschluss der Reflexion der folgende:

$$\begin{aligned}\langle L2 \rangle &= (L1x, L1y, -L1z) \\ &= (L1x, L1y, \cos\theta_1)\end{aligned}$$

[0055] Weiterhin ist es erforderlich, Bedingungen zu betrachten, unter denen der Vektor $\langle L2 \rangle$ an einer zweiten Grenzfläche totalreflektiert wird. Wenn angenommen wird, dass die zweite Grenzfläche in einer xz-Ebene liegt und der Vektor unter einem Einfallswinkel θ_2 auf die xz-Ebene fällt, ergibt sich

$$\langle L2 \rangle \cdot \langle N_y \rangle = \cos(\pi - \theta_2)$$

[0056] Hierbei bezeichnet $\langle N_y \rangle$ einen Einheitsvektor $(0, 1, 0)$, der in die positive Richtung der y-Achse gerichtet ist. Wenn die vorstehende Gleichung entwickelt wird, ergibt sich:

$$L1y = -\cos\theta_2$$

[0057] Wie sich aus der vorstehenden Gleichung und Gleichung (6) ergibt, ist es erforderlich, die folgende Gleichung unter der Bedingung von $\theta_1, \theta_2 \geq \theta_c$ zu erfüllen

$$L1x^2 = 1 - \cos^2\theta_1 - \cos^2\theta_2 \quad (7)$$

[0058] Weil der Vektor an der xz-Ebene reflektiert wird, ist der Vektor $\langle L3 \rangle$ nach Abschluss der Reflexion der folgende:

$$\langle L3 \rangle = (+\{1 - \cos^2\theta_1 - \cos^2\theta_2\}^{1/2} \cdot \cos\theta_2, \cos\theta_1)$$

[0059] Wenn der Vektor $\langle L3 \rangle$ an einer dritten Grenzfläche totalreflektiert wird, gelingt das Einsperren des Lichts. Wenn die dritte Grenzfläche in die yz-Ebene gelegt ist und der Vektor unter einem Einfallswinkel θ_3 auf die yz-Ebene fällt, ergibt sich

$$\langle L3 \rangle \cdot \langle N_x \rangle = \cos(\pi - \theta_3)$$

[0060] Hierbei ist $N_x = (1, 0, 0)$. Daher wird die vorstehende Gleichung zu $L3x = -\cos\theta_3$ entwickelt, so dass es erforderlich ist, die Gleichung $+\{1 - \cos^2\theta_1 - \cos^2\theta_2\}^{1/2} = -\cos\theta_3$ zu erfüllen, so dass gilt

$$\cos^2\theta_1 + \cos^2\theta_2 + \cos^2\theta_3 = 1 \quad (8)$$

[0061] $\sin(\pi/2) = (n_t/n_i)\sin\theta_c$ gilt an dem Grenzwinkel θ_c . Wenn daher $n_i = 1,00$, $n_t = 1,47$ ist, ist der Grenzwinkel $\theta_c = 42,9^\circ$, weil $\sin\theta_c = 1/1,47$ ist.

[0062] Wenn $\theta_1 = \theta_2 = \theta_3$ ist, ergibt sich nach Gleichung (8), dass $3\cos^2\theta_1 = 1$ und $\theta_1 = 54^\circ$ ist, so dass die Gleichung $\theta_1 \geq 54^\circ > \theta_c = 42,9^\circ$ ausreichend er-

füllt ist. Ein Spielraum mit einem Freiheitsgrad in den vorstehend erwähnten Bedingungen kann als ein Freiheitsgrad verwendet werden, der es ermöglicht, dass die Totalreflexion in höherem Maße an der spezifizierten reflektierenden Fläche auftritt. Bei einem Glassubstrat ist es erforderlich, $\langle L1 \rangle$ auszuwählen, um die Reflexion an der Endfläche zu verringern.

[0063] Wie vorstehend erwähnt wurde, sind die Bedingungen, unter denen das Licht durch die mehrfache Totalreflexion eingesperrt wird, die folgenden:

$$\cos^2\theta_1 + \cos^2\theta_2 + \cos^2\theta_3 = 1$$

$$\cos\theta_c \geq \cos\theta_1, \cos\theta_2, \cos\theta_3 > 0$$

wenn $\theta_c = 42,9^\circ$ ist und $\cos\theta_c = 0,73$ ist. Wenn daher ein Bereich, in dem θ_1, θ_2 und θ_3 erfüllt sind, in dem Diagramm unter Verwendung von $\cos\theta_1, \cos\theta_2$ und $\cos\theta_3$ als Koordinatenachsen dargestellt wird, wie in [Fig. 29](#) dargestellt ist, ist eine gekrümmte Fläche 60, die als eine Oberfläche einer Kugel dient, deren Radius in einem Würfel, dessen Seite gleich 0,73 ist, gleich 1 ist, der Bereich, der die Totalreflexionsbedingungen erfüllt.

[0064] Wenngleich die Totalreflexionsbedingungen in Bezug auf das rechtwinklige transparente Material in der Art eines transparenten Substrats abgeleitet wurden, ist es auch möglich, die Bedingungen des Einfallswinkels des Lichts durch ein dem vorstehend erwähnten ähnliches Verfahren in einer allgemeinen Form festzulegen, wie nachstehend beschrieben wird. Die Bedingungen des Einfallswinkels des Lichts, das gemäß der Ausführungsform in das transparente Material eingeleitet wird, welche nachstehend beschrieben werden, werden auf der Grundlage des vorstehend Erwähnten abgeleitet.

[0065] Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zum Inspizieren der Ungleichmäßigkeit kann das transparente Material eine beliebige Form einer quadratischen (rechtwinkligen) Platte, einer kreisförmigen Platte, einer kreisringförmigen Platte, einer Linse, deren gekrümmte Fläche eine starke Krümmung hat, einer Kugel, eines Polyeders, einer Säule, eines Zylinders und einer polyedrischen Säule annehmen. Wenn es möglich ist, einen Zustand zu verwirklichen, in dem das Licht die Reflexion zumindest in dem Inspektionsbereich des transparenten Materials mindestens eine vorgegebene Anzahl von Malen wiederholt und das Licht in dem transparenten Material eingeschlossen wird, ist die Form des transparenten Materials nicht beschränkt.

[0066] Wie vorstehend erwähnt wurde, ist es zum Einsperren des Lichts in dem transparenten Material bevorzugt, dass das transparente Material zumindest ein Paar totalreflektierender Flächen, in denen das in das transparente Material eingeleitete Licht die Total-

reflexion wiederholt, und welche einander gegenüberstehen, und zumindest ein Paar von Wendeflächen, die so angeordnet sind, dass sie einander in Ausbreitungsrichtung des Laserstrahls, der die Totalreflexion zwischen den totalreflektierenden Flächen wiederholt und sich fortpflanzt, gegenüberstehen und den Laserstrahl zu den totalreflektierenden Flächen zurückwerfen, aufweist. Insbesondere sind die Wendeflächen wichtig, um das Licht in dem transparenten Material einzusperren. Die Wendeflächen müssen so bereitgestellt werden, dass sie einander in der Ausbreitungsrichtung des Lichts gegenüberstehen, und es ist erforderlich, zumindest ein Paar bereitzustellen. Dies liegt daran, dass das Licht, falls es nicht zwischen den Wendeflächen wiederholt wird, nicht eingesperrt werden kann.

[0067] In Bezug auf das Einleiten des Laserstrahls ist es erforderlich, den Laserstrahl so einzuleiten, dass der in das transparente Material eingeleitete Laserstrahl sich so fortpflanzt, dass Licht, das sich in dem transparenten Material fortpflanzt und auf die totalreflektierenden Flächen und Wendeflächen trifft, zwischen zumindest dem Paar von Wendeflächen totalreflektiert und wiederholt wird, und dass der Laserstrahl im Inspektionsbereich, der durch die Ausbreitung gebildet ist und von den totalreflektierenden Flächen und den Wendeflächen umgeben ist, ausgebreitet wird. Das heißt, dass der Laserstrahl, wenn der optische Weg in dem transparenten Material optisch gleichmäßig ist, derart eingeleitet wird, dass sich das in das transparente Material eingeleitete Licht fortpflanzt, während die Totalreflexion zwischen den totalreflektierenden Flächen, die einander zugewandt sind, wiederholt wird, dass das Licht auf eine Wendefläche (a) fällt und totalreflektiert wird und dass das Licht danach die Fortpflanzung in dem transparenten Material wiederholt und an zumindest einer der Wendeflächen (b), (c), ... mit Ausnahme der Wendefläche (a) totalreflektiert wird, und dass das in der Wendefläche (a) weiterlaufende Licht wieder zurückgeworfen wird. In diesem Fall ist der optische Weg in dem transparenten Material optisch gleichmäßig. Selbst wenn es keinen ungleichmäßigen Abschnitt gibt, wird die Totalreflexion zwischen den totalreflektierenden Flächen und den Wendeflächen wiederholt. Weil es keinen einzigen Punkt gibt, an dem das Licht an den totalreflektierenden Flächen und Wendeflächen leckt (mit Ausnahme des Bereichs für das Einleiten des Laserstrahls), wird der Einsperren des Lichts (im Wesentlichen) verwirklicht. Im Fall eines Paares der Wendeflächen wird das Licht in einer bestimmten Ebene des transparenten Materials eingesperrt. Im Fall mehrerer Paare der Wendeflächen erfolgt das Einsperren des Lichts fast in dem gesamten Bereich des transparenten Materials.

[0068] Um das Licht (im Wesentlichen) in dem transparenten Material einzusperren, ist es ausreichend, den Laserstrahl so einzuleiten, dass an den

totalreflektierenden Flächen und den Wendeflächen kein solcher einziger Punkt existiert, an dem der Laserstrahl geometrisch und optisch leckt. Weil das Lecken "geometrisch und optisch" erfolgt, wird hier Licht, wie Rayleigh-Streulicht, das sich durch eine optische Änderung infolge eines Merkmals, das für das transparente Material besonders ist, ergibt, nicht als ein eingeleiteter Laserstrahl angesehen. Der Grund, aus dem "ein einziger Punkt, an dem der Laserstrahl leckt, im Wesentlichen nicht existiert", besteht darin, dass in einem Fall, in dem der Laserstrahl die Totalreflexion zwischen den totalreflektierenden Flächen und den Wendeflächen viele Male wiederholt, ein sehr schwacher Laserstrahl die Totalreflexionsbedingungen nicht erfüllt und infolge des Einflusses eines Ausbreitungswinkels des Laserstrahls selbst aus dem transparenten Material herausleckt. Daher wird in Betracht dieses Falls von "im Wesentlichen" gesprochen. Weil das leckende Licht infolge des Ausbreitungswinkels des Laserstrahls selbst entlang der Oberfläche des transparenten Materials leckt, wird es durch Erfassungseinrichtungen nicht erfasst, so dass es keine Wirkung auf die Erfassungsempfindlichkeit hat.

[0069] Wenn angenommen wird, dass der Brechungsindex des transparenten Materials für eine Wellenlänge λ des Laserstrahls, der eingeleitet wird, n_t ist, der Brechungsindex des externen Mediums, das in Kontakt mit dem transparenten Material gebracht ist, n_i ist und der Einfallswinkel des auf die totalreflektierenden Flächen und die Wendeflächen fallenden Lichts θ_{ik} ist (k bezeichnet eine Position, an der der Laserstrahl auf die totalreflektierenden Flächen und die Wendeflächen fällt, nachdem er in das transparente Material eingeleitet wurde, und die Einfallswinkelpositionen sind der Reihe nach als $k = 1, 2, \dots$ festgelegt), ist es zum Einsperren des Lichts in dem transparenten Material ausreichend, den Laserstrahl so einzuleiten, dass θ_{ik} in den totalreflektierenden Flächen und den Wendeflächen gleich einem als $\sin\theta_c = n_i/n_t$ ausgedrückten kritischen Winkel θ_c oder größer als dieser ist.

[0070] In Bezug auf die Oberfläche des transparenten Materials sei in Bezug auf eine Form, in der es schwierig ist, das Licht durch Totalreflexion einzusperren (beispielsweise eine Form, deren gekrümmte Fläche eine große Krümmung hat), bemerkt, dass die Ungleichmäßigkeit inspiziert werden kann, indem das Licht so fortpflanzt wird, dass die Totalreflexion an wenigstens zwei Flächenpaaren (wenigstens einem Paar der totalreflektierenden Flächen und wenigstens einem Paar der Wendeflächen) wiederholt wird, welche an der Außenseite des transparenten Materials bereitgestellt sind und einander zugewandt sind. Insbesondere kann die Inspektion so ausgeführt werden, dass ein transparentes Gefäß mit Oberflächen, die mit einer spiegelnden Beschaffenheit versehen sind, verwendet wird, ein transparentes

Material in ein Medium (eine Flüssigkeit oder dergleichen) in dem Gefäß eingebracht wird, dessen Brechungsindex größer ist als derjenige eines externen Mediums des Gefäßes, und der Laserstrahl so eingeleitet wird, dass die Totalreflexion an der Außenfläche des Gefäßes wiederholt wird und sich fortpflanzt.

[0071] Es ist bevorzugt, dass durch Einleiten des Laserstrahls, so dass alle Laserstrahlen zumindest an den totalreflektierenden Flächen und den Wendeflächen, auf die der in das transparente Material eingeleitete Laserstrahl zuerst fällt, totalreflektiert werden, dass die Totalreflexionsbedingungen erfüllende Licht präzise in das transparente Material geleitet werden kann. Weil in einem anderen Fall als dem vorstehend erwähnten, beispielsweise wenn sich Streulicht in dem transparenten Material an der Fläche für das Einleiten des Laserstrahls fortpflanzt, Ortspunkte von (mehreren) Strahlen, die sich in dem transparenten Material fortpflanzen, nicht erwartet werden können, ist es schwierig zu erreichen, dass fast alle der eingeleiteten Laserstrahlen, die auf die totalreflektierenden Flächen und die Wendeflächen fallen, totalreflektiert werden, so dass das Einsperren des Lichts, wie in der Erfindung dargestellt, nicht verwirklicht wird.

[0072] Es ist erwünscht, dass eine Einleitfläche zum Einleiten des Laserstrahls in einem Abschnitt bereitgestellt wird, der von einer bestimmten totalreflektierenden Fläche und wenigstens einer Wendefläche eingeschlossen ist. In Bezug auf das Einleiten des Laserstrahls in das transparente Material sei bemerkt, dass der Laserstrahl von einer anderen totalreflektierenden Fläche oder Wendefläche als der Einleitfläche eingeleitet werden kann. In diesem Fall muss jedoch als ein Eintrittsfenster zum Einleiten des Laserstrahls ein optisches Element aus einem Material, das im Wesentlichen den gleichen Brechungsindex wie das transparente Material hat, durch einen Klebstoff oder dergleichen angebracht werden, so dass es viel Zeit erfordert. Weil das optische Element an den als Inspektionsbereiche dienenden totalreflektierenden Flächen oder Wendeflächen angebracht wird, erfüllt das sich im transparenten Material fortplanzende Licht nicht die Totalreflexionsbedingungen in dem angebrachten Abschnitt, und das Licht leckt, so dass die Inspektion im Wesentlichen nicht ausgeführt werden kann. Dies ist daher nicht bevorzugt.

[0073] Wie vorstehend erwähnt wurde, wird der Laserstrahl, wenn die Einleitfläche für das Einleiten des Laserstrahls existiert, spezifisch so eingeleitet, dass der eingeleitete Laserstrahl nur in die Einleitfläche und eine Fläche, in der ein zwischen der Fläche und der Einleitfläche gebildeter Winkel fast einem Winkel entspricht, der zwischen der Fläche und der totalreflektierenden Fläche gebildet ist, emittiert, wodurch die gemäß der vorliegenden Erfindung erwähnte

Lichteinsperrung verwirklicht wird.

[0074] Es ist erwünscht, dass zumindest die Einleitfläche des transparenten Materials für das Einleiten des Laserstrahls spiegelpoliert ist. Der Laserstrahl wird so eingeleitet, dass die Totalreflexion an den totalreflektierenden Flächen und den Wendeflächen wiederholt wird und das Licht eingesperrt wird. Wenn die Einleitfläche spiegelpoliert ist, wird der eingeleitete Laserstrahl jedoch nicht durch eine Diffusion von der Einleitfläche beeinflusst und pflanzt sich unverändert als paralleles Licht fort. Folglich wird das gesamte Licht, das auf die totalreflektierenden Flächen und die Wendeflächen fällt, totalreflektiert, so dass das Ansprechen des Inspektionslichts in den ungleichmäßigen und den gleichmäßigen Abschnitten des transparenten Materials kritischer wird und der Kontrast verbessert wird. Vorzugsweise ist es erwünscht, dass die gesamte Oberfläche (die totalreflektierenden Flächen, die Wendeflächen und die Einleitflächen) des transparenten Materials spiegelpoliert sind.

[0075] Es wird angenommen, dass die Größe der totalreflektierenden Fläche L ist, die Breite der Einleitfläche d ist, der Brechungsindex des transparenten Materials für die Wellenlänge λ des Laserstrahls n_t ist, der Brechungsindex des externen Mediums, das in Kontakt mit dem transparenten Material gelangt, n_i ist, der Strahldurchmesser des Laserstrahls ϕ ist, der Winkel des auf die totalreflektierenden Flächen und die Wendeflächen einfallenden Lichts θ_{ik} ist (k bezeichnet die Position, an der der Laserstrahl zuerst auf die totalreflektierenden Flächen und die Wendeflächen trifft, nachdem der Laserstrahl in das transparente Substrat eingeleitet wurde, und die Einfallspositionen werden nacheinander als $k = 1, 2, \dots$ bezeichnet. Insbesondere beträgt der Winkel des Lichts, das zuerst auf die totalreflektierende Fläche oder die Wendefläche fällt, nachdem der Laserstrahl eingeleitet wurde, θ_i) und die Anzahl der Reflexionen an den totalreflektierenden Flächen m ist. Wenn m durch eine Funktion von L , d , $n_t(\lambda)$, n_i , ϕ und θ_1 ausgedrückt wird, ist es bevorzugt, dass die Bedingungen von wenigstens einem von L , d , $n_t(\lambda)$, n_i , ϕ und θ_1 so festgelegt werden, dass m in einem Bereich, in dem jedes θ_{ik} gleich dem kritischen Winkel θ oder größer als dieser ist, gleich einem festgelegten Referenzwert oder größer als dieser ist, und der Laserstrahl von der Einleitfläche des transparenten Materials eingeleitet wird.

[0076] Wenn das von der Einleitfläche eingeleitete Licht die Fortpflanzung in dem transparenten Material wiederholt und das Licht wieder auf die Einleitfläche fällt, leckt das Licht, weil das Licht mit dem kritischen Winkel θ oder weniger einfällt. Wenn es daher erwünscht ist, dass die Totalreflexion in dem transparenten Material in höherem Maße erfolgt (wenn es erwünscht ist, m zu erhöhen), ist es ausreichend, die Wahrscheinlichkeit zu verringern, dass das Licht aus

der Einleitfläche leckt. Tatsächlich wird die Ortskurve des Strahls durch eine Simulation erhalten, und das in das transparente Material eingeleitete Licht wiederholt die Totalreflexion an den totalreflektierenden Flächen und den Wendeflächen und pflanzt sich fort, so dass die Breite d der Einleitfläche anhand der Zunahme der Anzahl der Reflexionen, bis das Licht aus der Einleitfläche herausleckt, bestimmt wird. Insbesondere ist es ausreichend, dass die Breite d der Einleitfläche verringert wird. Wenngleich die Breite d der Einleitfläche auch durch den Strahldurchmesser des Laserstrahls und einen Prozess für das transparente Material begrenzt ist, ist es wünschenswert, dass d gleich 0,4 mm oder kleiner, vorzugsweise 0,2 mm oder kleiner ist. Wenn die Breite sehr stark verringert wird (sie kleiner ist als 0,1 mm), ist dies nicht vorteilhaft, weil an der Grenzfläche zwischen den totalreflektierenden Flächen und der Einleitfläche und der Grenzfläche zwischen den Wendeflächen und der Einleitfläche leicht ein Bruch auftritt.

[0077] Durch Auswählen des Brechungsindex n_t (oder der Wellenlänge λ des Laserstrahls) des transparenten Materials kann m (die Anzahl der Reflexionen an den totalreflektierenden Flächen) eingestellt werden. Weil insbesondere ein Fall auftritt, in dem die Qualität des transparenten Materials entsprechend seiner Verwendung begrenzt ist, ist es bevorzugt, die Wellenlänge λ des Laserstrahls auszuwählen. Die Wellenlänge des Laserstrahls ist bevorzugt, bei der eine Absorption des transparenten Materials gering ist. Wenn die Absorption groß ist, ist dies nicht vorteilhaft, weil die Möglichkeit besteht, dass nicht nur die Erfassungsempfindlichkeit der Ungleichmäßigkeit abnimmt, sondern auch dass das transparente Material selbst bricht. Die Wellenlänge des Laserstrahls übt auch einen Einfluss auf die Auflösung der Ungleichmäßigkeit (Kratzer an der Oberfläche oder dergleichen) aus. Weil die maximale Auflösung der Ungleichmäßigkeit die Wellenlänge λ des Laserstrahls wird, wird die Wellenlänge des Laserstrahls auf 1 μm oder kleiner gelegt, wenn es erwünscht ist, einen so feinen Defekt aufzulösen und zu erfassen, dass die Breite eines Kratzers eines Glassubstrats für eine elektronische Vorrichtung bei einem Bild 1 μm oder weniger beträgt.

[0078] Wenn das transparente Material eine bestimmte spezifische Form aufweist (wenn die totalreflektierenden Flächen beispielsweise zu den Wendeflächen oder dergleichen senkrecht stehen), kann m (die Anzahl der Reflexionen an den totalreflektierenden Flächen) durch geeignetes Einstellen des Winkels θ_1 eingestellt werden, weil der Winkel, unter dem der Strahl auf jede der totalreflektierenden Flächen und der Wendeflächen fällt, eine vorgegebene Beziehung mit dem Winkel θ_1 aufweist, bei dem der Laserstrahl zuerst nach Abschluss des Einleitens auf die totalreflektierenden Flächen fällt. Tatsächlich wird, nachdem die Bedingungen des transparenten

Materials (die Breite d und der Brechungsindex n_t der Einleitfläche) und die Bedingungen des Laserstrahls (die Wellenlänge λ und der Strahldurchmesser ϕ) bestimmt wurden, θ_1 so eingestellt, dass er gleich dem Referenz-Entwurfswert m ist, der es ermöglicht, dass das transparente Material mit Licht gefüllt wird, oder größer als dieser ist, und der Laserstrahl wird eingeleitet. Im Allgemeinen gibt es jedoch, abhängig von der Differenz zwischen Verarbeitungsgenauigkeiten, nur eine geringe Änderung der Größe (der Länge oder dergleichen) der totalreflektierenden Fläche. Wenn die Größe der totalreflektierenden Fläche die Änderung aufweisenden transparenten Materials bei jeder inspizierten Probe erfasst wird und die Inspektion dann vorgenommen wird, ist sehr viel Zeit erforderlich, so dass dies nicht praktikabel ist. Daher kann der Laserstrahl, der in das transparente Material eingeleitet wird, mit hoher Empfindlichkeit und hoher Geschwindigkeit erfasst werden, indem der Einfallswinkel innerhalb eines Bereichs geändert wird, in dem die Totalreflexion hervorgerufen wird und der Strahl auftreffen gelassen wird, so dass ein sehr nützliches Inspektionsverfahren verwirklicht werden kann.

[0079] Es ist bevorzugt, dass die totalreflektierenden Flächen und die Wendeflächen des transparenten Materials einander unter rechten Winkeln kreuzen. Bei dieser Konstruktion tritt der eingeleitete Laserstrahl leicht in einen Zustand ein, in dem er die Totalreflexion an den totalreflektierenden Flächen und den Wendeflächen wiederholt und er in dem transparenten Material eingesperrt wird. Dabei kann die Inspektion für den breiten Bereich des transparenten Materials gleichzeitig ausgeführt werden, so dass eine schnelle Inspektion verwirklicht werden kann. Der Grund hierfür besteht darin, dass der Einfallswinkel des Lichts zumindest an dem Paar totalreflektierender Flächen, an dem der eingeleitete Laserstrahl die Totalreflexion wiederholt, gleich ist und der Einfallswinkel des Lichts auch zumindest an dem Paar von Wendeflächen gleich ist, so dass sich das Licht so fortpflanzt, dass es eine vorgegebene Beziehung aufweist (wenn der Einfallswinkel des Lichts auf der totalreflektierenden Fläche θ ist, ist der Einfallswinkel des Lichts auf der Wendefläche $90^\circ - \theta$).

[0080] Im Inspektionsbereich des von einem bestimmten Paar der totalreflektierenden Flächen und einem bestimmten Paar von Wendeflächen sandwichförmig eingeschlossenen transparenten Materials wird die Ungleichmäßigkeit in einer bestimmten Ebene in dem mit dem Licht gefüllten Inspektionsbereich dadurch inspiziert, dass sich das Licht in dem transparenten Material fortpflanzt, und es wird anschließend die Ungleichmäßigkeit des Inspektionsbereichs inspiziert, indem die Inspektionsebene in Bezug auf das transparente Material in die Richtung bewegt wird, in der der Inspektionsbereich mit Licht gefüllt wird, so dass das Inspektionsverfahren verein-

facht werden kann und es vorteilhaft ist.

[0081] Wenngleich das allgemeine erfindungsgemäße Konzept des Einsperrens von Licht erklärt worden ist, wird, wenn die Erfindung spezifischer verwirklicht wird, ein Verfahren zum Inspizieren einer Ungleichmäßigkeit eines transparenten Materials bereitgestellt, indem ein Laserstrahl in das transparente Material eingeleitet wird, wobei die Oberfläche des transparenten Materials mindestens ein Paar von Hauptflächen, die zueinander parallel sind, mindestens ein Paar von Endflächen, welche die Hauptflächen schneiden, und abgeschrägte Abschnitte, die von den Hauptflächen und den Endflächen eingeschlossen sind, aufweist, wobei, wenn ein optischer Weg in dem transparenten Material optisch gleichmäßig ist, ein Laserstrahl so eingeleitet wird, dass sich Licht, das sich in dem transparenten Material fortpflanzt und auf die Hauptflächen und die Endflächen des transparenten Materials fällt, so fortpflanzt, dass es zwischen zumindest dem Paar von Endflächen totalreflektiert und wiederholt wird und in einem Inspektionsbereich verbreitert wird, der durch die Ausbreitung gebildet ist und von den Hauptflächen, den Endflächen und den abgeschrägten Abschnitten umgeben ist, und wobei das Licht, das aus den Hauptflächen und/oder den Endflächen herausleckt, erfasst wird, wenn ein ungleichmäßiger Abschnitt in dem optischen Weg des in das transparente Material eingeleiteten und sich darin ausbreitenden Lichts existiert, wodurch die Ungleichmäßigkeit des transparenten Materials inspiziert wird.

[0082] In diesem Fall entsprechen die Hauptflächen, die Endflächen und jeder der abgeschrägten Abschnitte den vorstehend erwähnten totalreflektierenden Flächen, den Wendeflächen und der Einleitfläche. Als eine repräsentative Form mit den Hauptflächen, den Endflächen und den abgeschrägten Abschnitten kann eine quadratische (rechtwinklige) Platte, eine kreisförmige Platte, eine kreisringförmige Platte oder dergleichen erwähnt werden. In diesem Fall tritt der eingeleitete Laserstrahl leicht in einen Zustand ein, in dem er die Totalreflexion an den Hauptflächen und den Endflächen wiederholt und (im Wesentlichen) in dem transparenten Material eingeschlossen wird. Weil tatsächlich ein breiter Bereich des transparenten Materials gleichzeitig inspiziert werden kann und eine schnelle Inspektion verwirklicht werden kann, ist dies bevorzugt. Dies liegt an folgendem: Alle Einfallswinkel von Licht auf die Hauptflächen, auf denen der eingeleitete Laserstrahl die Totalreflexion wiederholt, sind gleich, und alle Einfallswinkel des Lichts, das auf die Endflächen fällt, sind auch gleich. Weil sich das Licht so ausbreitet, dass jene Einfallswinkel eine vorgegebene Beziehung beibehalten (wenn angenommen wird, dass der Einfallswinkel des Lichts, das auf die Hauptflächen fällt, gleich θ ist, ist der Einfallswinkel des Lichts, das auf die Endflächen fällt, gleich $90^\circ - \theta$), wird die Licht-

einsperrung (im Wesentlichen) erfüllt, indem es lediglich so eingerichtet wird, dass der Einfallswinkel auf die Hauptflächen, auf die das Licht zuerst fällt, nachdem es in das transparente Material eingeleitet wurde, größer ist als ein kritischer Punkt und der Einfallswinkel auf die Endflächen größer ist als der kritische Punkt.

[0083] Bei einem spezifischen Verfahren zum Einleiten des Laserstrahls wird der Laserstrahl so eingeleitet, dass ein einziger Punkt, an dem der Laserstrahl geometrisch und optisch aus den Hauptflächen und den Endflächen herausleckt, im Wesentlichen nicht existiert. Weiterhin wird der Laserstrahl so eingeleitet, dass der eingeleitete Laserstrahl nur von den abgeschrägten Abschnitten emittiert wird.

[0084] Es ist auch bevorzugt, dass das transparente Material, das als ein Objekt für das Ungleichmäßigkeits-Inspektionsverfahren dient, Glas ist. Die Qualität des transparenten Materials wird entsprechend verschiedenen Anwendungen festgelegt. Im Fall von Glas treten die Vorteile auf, dass es hart ist, durch Spiegelpolieren eine bemerkenswert glatte Oberfläche erhalten werden kann, dass die Lichtdurchlässigkeit gut ist und dergleichen.

[0085] Wenn das transparente Material ein Glassubstrat für eine elektronische Vorrichtung ist, zeigt das Ungleichmäßigkeits-Inspektionsverfahren die Wirkung in noch höherem Maße. Weil ein Glassubstrat mit einer mit hoher Genauigkeit polierten Oberfläche in Zusammenhang mit dem Verwirklichen einer hohen Musterdichte in den letzten Jahren notwendig geworden ist, ist das Ungleichmäßigkeits-Inspektionsverfahren zum Inspizieren der Ungleichmäßigkeiten in der Art feiner Kratzer oder Schlieren des Substrats wirksam, die einen nachteiligen Einfluss auf die Bildung oder eine Belichtung des Musters ausüben.

[0086] Wenn das transparente Material ein Glassubstrat für ein Informationsaufzeichnungsmedium ist, zeigt das Ungleichmäßigkeits-Inspektionsverfahren die Wirkung in noch höherem Maße. Weil das transparente Substrat mit der mit hoher Genauigkeit polierten Oberfläche in Zusammenhang mit dem Verwirklichen einer hohen Aufzeichnungsdichte und einem niedrigen Schweben eines Magnetkopfs in den letzten Jahren notwendig geworden ist, ist das Ungleichmäßigkeits-Inspektionsverfahren zum Inspizieren der Ungleichmäßigkeiten in der Art eines Kratzers auf der Substratoberfläche wirksam, die einen nachteiligen Einfluss auf die Verwirklichung einer hohen Aufzeichnungsdichte und eines niedrigen Schwebens des Magnetkopfs ausüben.

[0087] Ähnlich wie beim Glassubstrat für elektronische Vorrichtungen, beim Glassubstrat für das Informationsaufzeichnungsmedium oder beim Glassubstrat für eine Flüssigkristallanzeige kann gleichzeitig

ein breiter Bereich des transparenten Materials inspiziert werden, so dass die Inspektion mit hoher Geschwindigkeit ausgeführt werden kann, wenn das Material so gebildet ist, dass es Hauptflächen aufweist, die zueinander parallel sind, und Endflächen aufweist, die senkrecht zu den Hauptflächen stehen, so dass das eingeleitete Licht die Totalreflexion wiederholt und es in dem transparenten Material eingesperrt wird.

[0088] Eine Vorrichtung, die zum Ausführen des Verfahrens gemäß der Erfindung geeignet ist, weist auf: eine Beleuchtungseinrichtung (Bestrahlungseinrichtung) zum Einleiten eines Laserstrahls in das transparente Material und eine Erfassungseinrichtung zum Erfassen von Licht, das aus dem transparenten Material herausleckt, wobei das transparente Material eine Einleitfläche zum Einleiten des Laserstrahls in das transparente Material und mindestens zwei Flächenpaare, an denen der eingeleitete Laserstrahl eine Totalreflexion wiederholt und welche einander gegenüberstehen, aufweist und wobei die Beleuchtungseinrichtung so eingerichtet ist, dass ein von ihr emittierter Laserstrahl von der Einleitfläche eingeleitet wird, wenn ein optischer Weg in dem transparenten Material optisch gleichmäßig ist, Licht, das sich in dem transparenten Material ausbreitet und auf die Flächen des transparenten Materials fällt, sich so ausbreitet, dass es totalreflektiert wird und an zumindest einem Flächenpaar von den vorstehend erwähnten Flächen wiederholt wird, und der Laserstrahl in einem Inspektionsbereich verbreitert wird, der durch die Ausbreitung gebildet ist und von mindestens zwei der Flächenpaare umgeben ist. Bei einer solchen Konstruktion kann die Inspektion der Ungleichmäßigkeit des transparenten Materials automatisch vorgenommen werden, und die Inspektionszeit kann verringert werden, und es kann die Zuverlässigkeit der Inspektion verbessert werden.

[0089] Es ist bei der Inspektionsvorrichtung bevorzugt, dass eine Winkeleinrichtung zum Ändern des Einfallswinkels des Laserstrahls in das transparente Material für die Beleuchtungseinrichtung bereitgestellt wird. Die Winkeleinrichtung stellt den Einfallswinkel so ein, dass der in das transparente Material eingeleitete Laserstrahl die Totalreflexion an der Oberfläche des transparenten Materials wiederholt und das Licht eingesperrt wird, und sie wird auch verwendet, wenn der Einfallswinkel innerhalb eines Bereichs geändert wird, in dem die Totalreflexion auftritt, um eine Größenänderung infolge einer Differenz zwischen Verarbeitungspräzisionen des transparenten Materials zu absorbieren.

[0090] Als Beispiel einer Winkeleinrichtung kann ein Spiegel erwähnt werden. Der Spiegel wird zwischen der Beleuchtungseinrichtung (beispielsweise einem Laser) und dem transparenten Material angeordnet und stellt den Einfallswinkel für das transpa-

rente Material ein. Zusätzlich zu dem Spiegel ist es auch ausreichend, dass eine Winkeleinrichtung zum Ändern eines Winkels der Beleuchtungseinrichtung zu dem transparenten Material für die Beleuchtungseinrichtung selbst bereitgestellt wird oder eine Winkeleinrichtung für einen Halter zum Halten des transparenten Materials bereitgestellt wird. Es kann auch eine Einrichtung zum Ändern des Einfallswinkels durch die Verwendung eines akustooptischen Effekts eines Ultraschallstrahls in der Art eines akustooptischen Polariskops verwendet werden.

[0091] Es ist bei der Inspektionsvorrichtung bevorzugt, bewegliche (abtastende) Einrichtungen zum Bewegen (Abtasten) einer Einfallsposition des Laserstrahls auf dem transparenten Material bereitzustellen. Dies liegt daran, dass der gesamte Bereich des transparenten Materials umfangreich und automatisch inspiziert werden kann. Beispielsweise werden eine Beleuchtungseinrichtung in der Art eines Lasers und eine Winkeleinrichtung in der Art eines Spiegels auf demselben Tisch montiert. Durch Anbringen einer Antriebsvorrichtung an dem Tisch können sie sequenziell entlang einer Seite des transparenten Materials bewegt werden, oder durch Anbringen einer Antriebsvorrichtung an dem Halter zum Halten des transparenten Materials kann der Halter bewegt werden.

[0092] Es ist bei der Inspektionsvorrichtung bevorzugt, dass das transparente Material und die Erfassungseinrichtung in Bezug auf die Beleuchtungseinrichtung integriert und relativ bewegt werden. Wenn ein Erfassungsbereich der Erfassungseinrichtung größer als der Inspektionsbereich ist, wird das transparente Material in Bezug auf die Beleuchtungseinrichtung bewegt, damit die Inspektion der Ungleichmäßigkeit ausgeführt werden kann. Weil der Inspektionsbereich jedoch im Allgemeinen größer ist als der Erfassungsbereich der Erfassungseinrichtung, werden das transparente Material und die Erfassungseinrichtung integriert und in Bezug auf die Beleuchtungseinrichtung bewegt. Wenn sie relativ bewegt werden, ist es auch möglich, dass die Beleuchtungseinrichtung, nämlich ein optisches Beleuchtungssystem in der Art eines Lasers, feststehend ist, und das transparente Material und/oder die Erfassungseinrichtung unter Verwendung der Antriebsvorrichtung oder dergleichen bewegt werden oder das transparente Material und/oder die Erfassungseinrichtung feststehend sind und das optische Beleuchtungssystem in der Art eines Lasers bewegt wird.

[0093] Es ist bei der Inspektionsvorrichtung bevorzugt, dass die Erfassungseinrichtung eine Bildaufnahmekamera mit einer Bildaufnahmeverrichtung (CCD oder dergleichen) und eine Linse zur Abbildung des Lichts, das aus dem transparenten Material leckt, als ein Bild auf die Bildaufnahmekamera aufweist und

die Bildaufnahmekamera und/oder die Linse in Tiefenrichtung des transparenten Materials in Bezug zueinander bewegt werden. Durch das relative Bewegen der Bildaufnahmekamera und/oder der Linse in Tiefenrichtung für das transparente Material kann eine Fokussierung der Bildaufnahmekamera vorgenommen werden, so dass genaue Informationen über die Ungleichmäßigkeit (Kratzer an der Oberfläche, innere Schlieren, Blasen oder dergleichen) in Dickenrichtung des transparenten Materials erhalten werden können. Beispielsweise ist die Erfassungseinrichtung in der Art der Bildaufnahmekamera und der Linse feststehend und werden das transparente Material, der Laser und der Spiegel in Tiefenrichtung der Erfassungseinrichtung integriert bewegt. Dagegen ist es auch möglich, dass das transparente Material, der Laser und der Spiegel feststehend sind und die Erfassungseinrichtung in der Art der Bildaufnahmekamera und der Linse bewegt wird.

[0094] Es ist bei der Inspektionsvorrichtung erwünscht, eine Entscheidungseinrichtung zum Entscheiden des Vorhandenseins oder Nichtvorhandenseins, der Art und der Größe der Ungleichmäßigkeit des transparenten Materials auf der Grundlage der von der Erfassungseinrichtung erfassten Informationen bereitzustellen.

[0095] In Bezug auf das Vorhandensein oder das Nichtvorhandensein, die Art (Kratzer oder Risse auf dem Oberflächenabschnitt, Schlieren oder Fremdstoffe auf der Innenseite oder dergleichen), die Größe (Fläche, Länge, Breite, Tiefe, Bereich oder dergleichen) der Ungleichmäßigkeit, die zuvor in dem transparenten Material vorhanden war, und (Bild-)Informationen des Lichts, das aus der Oberfläche herausleckt, wird eine Beziehung (Informationen zwischen der Lichtmenge des herausleckenden Lichts, der Leuchtkraft, der Intensitätsverteilung, der Tiefe von der Oberfläche oder dergleichen) in einem Computer oder dergleichen gebildet bzw. gesammelt und werden (Bild-)Informationen des durch die Inspektion erfassten Lichts mit den gesammelten Informationen verglichen, so dass die Art und die Größe der Ungleichmäßigkeit des transparenten Materials festgestellt werden können. Wie vorstehend erwähnt wurde, kann durch Entscheiden über das Vorhandensein oder Nichtvorhandensein, die Art und die Größe der Ungleichmäßigkeit des transparenten Materials ein gewünschtes Material extrahiert werden. Daher kann beispielsweise ein Glassubstrat mit einer Ungleichmäßigkeit, die einen Einfluss auf die Zeit der Bildung eines Musters oder einer Belichtung für ein übertragendes Objekt hat, vor dem folgenden Prozess nach Abschluss der Inspektion beseitigt werden oder zu einem erneuten Polierprozess zurückgeführt werden, so dass die Produktivität verbessert werden kann.

[0096] Es ist bei der Ungleichmäßigkeits-Inspektionsvorrichtung bevorzugt, dass für die Informationen

des erfassten Lichts das S/N-Verhältnis ($10 \cdot \log_{10}(S/N)$) gleich 4,8 dB oder größer ist, solange die normierte Belichtungszeit gleich 0,025 oder größer ist, wenn das von der CCD erfasste Licht für die normierte Belichtungszeit der CCD in ein S/N-Verhältnis ($10 \cdot \log_{10}(S/N)$) umgewandelt und verarbeitet wird. In diesem Fall ist die normierte Belichtungszeit als (Belichtungszeit der CCD)/(maximale Belichtungszeit der CCD, bis ein Signal einen Hintergrund erreicht ($20000/4095$) \times 100 Elektronen) definiert. Die vorstehend erwähnte normierte Belichtungszeit kann durch die Messbedingungen oder die Inspektionsvorrichtung frei festgelegt werden.

[0097] Dies liegt daran, dass, wenn das S/N-Verhältnis gleich 4,8 dB oder größer ist (der Betrag des Signals für den Hintergrund ist gleich einem Wert, der drei Mal so hoch ist wie derjenige von Rauschen), der Wert ein mögliches Bildverarbeitungsniveau ist, das im Allgemeinen bekannt ist, so dass das Vorhandensein oder Nichtvorhandensein, die Art und die Größe der Ungleichmäßigkeit des transparenten Materials genau unterschieden werden können.

[0098] Ein Verfahren zum Auswählen eines transparenten Substrats unter Verwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens weist die folgenden Schritte auf: Vorbereiten eines transparenten Substrats mit einer Einleitfläche, in die ein Laserstrahl eingeleitet wird, mindestens einem Paar von Hauptflächen, an denen der eingeleitete Laserstrahl eine Totalreflexion wiederholt und welche einander gegenüberstehen, und mindestens einem Paar von Endflächen, die so bereitgestellt sind, dass sie einander in der Ausbreitungsrichtung des Lichts gegenüberstehen, Einleiten des Laserstrahls von der Einleitfläche derart, dass, wenn ein optischer Weg in dem transparenten Substrat optisch gleichmäßig ist, Licht, das sich in dem transparenten Material ausbreitet und auf die Hauptflächen und die Endflächen des transparenten Materials fällt, sich so ausbreitet, dass es totalreflektiert wird und zwischen zumindest dem Paar der Endflächen wiederholt wird, und sich der Laserstrahl in einem Inspektionsbereich, der durch die Ausbreitung gebildet ist und von den Hauptflächen und den Endflächen umgeben ist, verbreitert, Erfassen von Licht, das aus den Hauptflächen und/oder den Endflächen herausleckt, ohne totalreflektiert zu werden, und Vergleichen der erfassten Informationen mit Informationen, welche zuvor gespeichert worden sind und dem Vorhandensein oder Nichtvorhandensein, der Art und der Größe einer Ungleichmäßigkeit, die in dem transparenten Substrat existiert, entsprechen, wodurch das transparente Substrat ausgewählt wird.

Bevorzugte Ausführungsform der Erfindung

[0099] Ausführungsformen der Erfindung werden nachstehend anhand der Zeichnung beschrieben. **Fig. 1** ist ein schematisches Konstruktionsdiagramm,

in dem eine Vorrichtung zum Ausführen des Verfahrens zum Inspizieren einer Ungleichmäßigkeit eines transparenten Materials gemäß der Erfindung dargestellt ist.

[0100] In **Fig. 1** bezeichnet eine Bezugszahl **1** ein transparentes Substrat aus Glas, beispielsweise optischem Glas, das als ein Inspektionsobjekt dient. Wie in **Fig. 2** dargestellt ist, hat das transparente Substrat **1** parallele Ebenen, die einander gegenüberstehen und aus Hauptflächen (Fläche und hintere Fläche) **H** und Endflächen (T-Ebenen und C-Ebenen als abgeschrägte Abschnitte) bestehen. Jede Ebene wird spiegelpoliert und anschließend gereinigt. Die Hauptflächen (die Fläche und die hintere Fläche) spielen die Rolle, dass der in das transparente Substrat eingeleitete Laserstrahl eine Totalreflexion wiederholt und sich ausbreitet, und sie haben eine Funktion als eine totalreflektierende Fläche. Die Endflächen (T-Ebenen) sind so angeordnet, dass sie einander in Laufrichtung des Lichts gegenüberstehen, wodurch ermöglicht wird, dass das Licht, das die Totalreflexion an den Hauptflächen wiederholt hat und sich ausgebreitet hat, zwischen Spiegelflächen, die einander gegenüberstehen, wiederholt wird, und sie haben eine Funktion als eine Wendefläche zum Zurückwerfen des eingeleiteten und sich ausbreitenden Lichts. Die C-Ebenen sind Ebenen, die von den Hauptflächen und den Endflächen (T-Ebenen) sandwichförmig eingeschlossen sind. Weil in der C-Ebene im Allgemeinen ein feiner Kratzer an der Oberfläche kaum zu einem Problem wird, wird die Ebene nicht als ein Objekt des Inspektionsbereichs angesehen. Sie hat gemäß der Erfindung eine Funktion als eine Einleitfläche zum Einleiten des Laserstrahls.

[0101] In diesem Fall sind alle Oberflächen der Hauptflächen (Fläche und hintere Fläche) als totalreflektierende Flächen, die als Wendeflächen dienenden Endflächen (T-Ebenen) und die als Einleitflächen dienenden C-Ebenen spiegelpoliert. Insbesondere hat die Tatsache, dass die Einleitflächen spiegelpoliert sind, einen Sinn bei der Lichteinsperrung gemäß der Erfindung. Das heißt, dass sich der eingeleitete Laserstrahl durch das Spiegelpolieren der Einleitflächen als fast paralleles Licht ausbreitet, ohne erheblich gestreut zu werden, so dass es möglich ist, fast das gesamte Licht, das auf die Hauptflächen und die Endflächen fällt, so einzustellen, dass es totalreflektiert wird. Wenn die Einleitflächen nicht spiegelpoliert sind, wird das Licht an den Einleitflächen gestreut und breitet sich das Licht aus mehreren Richtungen aus, und es kann nicht jede Strahl-Ortskurve erwartet werden, so dass die Lichteinsperrung gemäß der Erfindung nicht erfüllt ist. Wenn gleich die Erklärung in Bezug auf die Tatsache gegeben wird, dass die Einleitflächen spiegelpoliert sind, ist das Spiegelpolieren unnötig, solange der Laserstrahl so eingeleitet werden kann, dass alle Laserstrahlen an den Hauptflächen, an denen der Laserstrahl in das Substrat ein-

geleitet wird, totalreflektiert werden. Beispielsweise wird durch Aufbringen von Anpassungsöl oder dergleichen mit dem gleichen Brechungsindex wie derjenige des Substrats zur Bildung einer Pseudo-Spiegeloberfläche auf den Einleitflächen auch die Lichteinsperrung gemäß der Erfindung verwirklicht.

[0102] Zum Verhindern der Totalreflexion an der Oberfläche und zum einfachen Ausführen der Inspektion des leckenden Lichts wird das transparente Substrat **1** durch einen Halter horizontal gehalten, um den Kontaktabschnitt so weit wie möglich zu verringern. **Fig. 3** zeigt ein Beispiel des Halters des transparenten Substrats **1**. Ein Halter **20** hat eine rechtwinklige Rahmenform für das Halten des transparenten Substrats **1**. Aufnahmeabschnitte **21** zum Tragen von Eckabschnitten der Bodenfläche des transparenten Substrats **1** sind an vier Ecken auf der Innenseite des Bodens des Halters **20** ausgebildet.

[0103] Kugeln **22** zum Tragen des transparenten Substrats **1** an Punkten sind angeordnet, um sie in Kontakt zu bringen, wenn es angeordnet wird.

[0104] Eine Beleuchtungseinrichtung zum Einleiten des Laserstrahls zum Inspizieren einer Ungleichmäßigkeit von der Seitenfläche des transparenten Substrats **1** ist für das transparente Substrat **1** bereitgestellt. Die Beleuchtungseinrichtung weist auf: einen Laser **2** als eine Lichtquelle zum Emittieren von Beleuchtungslicht und Spiegel **31** und **32** zum Ermöglichen, dass der Laserstrahl eine vorgegebene Position und einen vorgegebenen Winkel der C-Ebene beleuchtet. Der Laser **2** und die Spiegel **31** und **32** sind auf einem Tisch **5** angeordnet, auf dem sich eine Antriebsvorrichtung **4** zum Bewegen des Laserstrahls parallel zur Richtung der Seite **1a** des transparenten Substrats **1** befindet. Zum relativen Bewegen des Lasers **2** und der Spiegel **31** und **32** für das transparente Substrat **1** und die Erfassungseinrichtung sind das transparente Substrat **1** und die Erfassungseinrichtung feststehend und können der Laser **2** und die Spiegel **31** und **32** durch die Antriebsvorrichtung **4** integriert bewegt werden. (Es ist auch ausreichend, dass die Antriebsvorrichtung an dem transparenten Substrat **1** und der Erfassungseinrichtung angebracht ist und dass der Laser **2** und die Spiegel **31** und **32** feststehend sind, so dass das transparente Substrat **1** und die Erfassungseinrichtung integriert bewegt werden können.) Zum Erfassen der Ungleichmäßigkeit in der Dickenrichtung des transparenten Substrats **1** durch Ausführen einer Fokussierung einer CCD, wenn der Laserstrahl eingeleitet wird, kann der Tisch (nicht dargestellt), auf dem der Laser **2** und die Spiegel **31** und **32** angeordnet sind, in X-, Y- und Z-Richtung bewegt werden. Die Spiegel **31** und **32** werden für eine Feineinstellung eines Winkels oder dergleichen verwendet. Es ist auch ausreichend, den Laserstrahl vom Laser **2** ohne die Verwendung der Spiegel **31** und **32** auf das Substrat **1**

einzustrahlen. Eine Einfallswinkel-Einstelleinrichtung kann auch bereitgestellt werden, um zu ermöglichen, dass der durch das transparente Substrat **1** eingeleitete Laserstrahl einfällt, indem der Einfallswinkel in einem Bereich geändert wird, in dem der Laserstrahl die Totalreflexion bewirkt. Als Einfallswinkel-Einstelleinrichtung kann auch eine Einrichtung mit einem Mechanismus zum automatischen Einstellen der Winkel der Spiegel **31** und **32** durch eine Computersteuerung oder dergleichen oder eine Einrichtung in der Art eines akustooptischen Polariskops zum Ermöglichen des Einfallswinkels durch die Verwendung eines akustooptischen Effekts eines Ultraschallstrahls verwendet werden.

[0105] Die Erfassungseinrichtung zum Erfassen des Laserstrahls, der aus dem transparenten Substrat **1** herausleckt, ist oberhalb des transparenten Substrats **1** bereitgestellt. Die Erfassungseinrichtung weist eine CCD **6** und ein Linsensystem (optisches Bildformungssystem) **7** zum Bilden des aus dem transparenten Substrat **1** herausgeleckten Lichts als ein Bild auf der CCD **6** auf. Ein optischer Sensor zum Erfassen des aus dem transparenten Substrat **1** herausgeleckten Lichts ist nicht auf die CCD beschränkt, sondern es kann auch ein Photomultiplier oder dergleichen verwendet werden. Wenn ein flexibler Laserstrahl als Beleuchtungslicht verwendet wird, wird das aus dem Substrat **1** leckende Licht durch Sichtbetrachtung erfasst, und die Erfassungseinrichtung kann auch fortgelassen werden. Wenn die CCD als Erfassungseinrichtung verwendet wird, gibt es eine CCD eines Vollrahmensystems mit einer mechanischen Verschlussfunktion und eine eines Zwischenzeilensystems, wobei der mechanische Verschluss nicht erforderlich ist. In Bezug auf die Haltbarkeit ist die CCD des Zwischenzeilensystems bevorzugt. Zum Verringern von Rauschen ist es auch erwünscht, dass die CCD einen Kühllüfter oder eine thermoelektrische Kühlfunktion aufweist.

[0106] Eine aus einem Computer oder dergleichen bestehende Bildverarbeitungsvorrichtung **12** zum Verarbeiten eines erfassten Bilds ist durch einen A/D-Wandler **11** zum Umwandeln eines erfassten Analogsignals in ein Digitalsignal mit der CCD **6** verbunden.

[0107] Die Bildverarbeitungsvorrichtung **12** hat eine Funktion zum Analysieren eines Bildsignals von der CCD **6** und zum Anzeigen eines Formmusters, einer Lichtmenge, einer Intensitätsverteilung oder dergleichen des infolge der Ungleichmäßigkeit leckenden Lichts und eine Entscheidungseinheit zum Entscheiden des Vorhandenseins oder des Nichtvorhandenseins, der Art (ein Kratzer oder ein Riss auf dem Oberflächenabschnitt, Schlieren, Fremdstoffe im Inneren oder dergleichen) und der Größe (Fläche, Länge, Breite, Tiefe, Bereich oder dergleichen) der Ungleichmäßigkeit des transparenten Substrats **1**. Als

Informationen (Formmuster, Lichtmenge, Leuchtkraft, Intensitätsverteilung, Tiefe von der Oberfläche oder dergleichen des leckenden Lichts) des leckenden Lichts, welche der Art oder der Größe der in dem transparenten Substrat existierenden Ungleichmäßigkeit entsprechen, wurden Messwerte (Grunddaten) und dergleichen, die zuvor durch Messungen erhalten wurden, in eine Speichereinheit der Bildverarbeitungsvorrichtung **12** eingegeben.

[0108] Nun wird ein durch die Verwendung der Inspektionsvorrichtung in **Fig. 1** ausgeführtes spezifisches Inspektionsverfahren beschrieben. Als ein Inspektionsobjekt wird ein Glassubstrat für eine Photomaske, dessen Größe $152,4 \times 152,4 \times 6,35$ mm beträgt und bei dem die Breite der C-Ebene $0,4$ mm beträgt, inspiziert. Wie in **Fig. 2** dargestellt ist, fällt der Laserstrahl von der C-Ebene des Glassubstrats ein, so dass der Einfallswinkel θ_i in Bezug auf die Hauptfläche, auf die der Laserstrahl zuerst fällt, nachdem er in das Glassubstrat eingeleitet wurde, größer ist als der kritische Winkel θ_c und ein Einfallswinkel ($90^\circ - \theta_i$) auf die Endfläche des Glassubstrats größer ist als der kritische Winkel θ_c . Weil der Brechungsindex des Glassubstrats $1,47$ beträgt und der kritische Winkel θ_c etwa $42,9^\circ$ beträgt, wird der Einfallswinkel θ_i auf $44,1^\circ$ gelegt. Das heißt, dass das Verfahren für das Einleiten in Bezug auf einen Punkt gekennzeichnet ist, an dem der Laserstrahl eingeleitet wird, so dass ein einziger Punkt, an dem der Laserstrahl (geometrisch und optisch) leckt, auf den Hauptflächen und den Endflächen des Glassubstrats nicht existiert und der eingeleitete Laserstrahl nur von den C-Ebenen emittiert wird. Als ein Laser wird ein He-Ne-Laser verwendet, und es wird ein Laserstrahl eingestrahlt, bei dem der Strahldurchmesser $0,5$ mm beträgt, der Ausbreitungswinkel des Strahls 1 mrad beträgt, die Laserleistung $0,5$ mW beträgt und die Wellenlänge 543 nm beträgt.

[0109] Weil das Substrat, das dieses Mal verwendet wird, eine Form hat, bei der alle Hauptflächen als totalreflektierende Flächen und die Endflächen als Wendeflächen eine solche Beziehung aufweisen, dass sie einander unter rechten Winkeln kreuzen, sind die Einfallswinkel des auf die Hauptflächen fallenden Lichts gleich, sind die Einfallswinkel des auf die Endflächen fallenden Lichts gleich und breitet sich das Licht so aus, dass diese Winkel eine vorgegebene Beziehung aufweisen (wenn der Einfallswinkel des Lichts, das auf die Hauptfläche fällt, θ_i ist, beträgt der Einfallswinkel des Lichts, das auf die Endflächen fällt, $90^\circ - \theta_i$). Daher wird die Lichteinsperrung einfach dadurch verwirklicht, dass der Einfallswinkel θ_i auf die Hauptfläche, auf die das Licht zuerst fällt, nachdem es in das Glassubstrat eingeleitet wurde, und der Einfallswinkel $90^\circ - \theta_i$ auf die Endfläche größer gesetzt werden als der kritische Winkel θ_c . Im Fall einer normalen Form (beispielsweise einer Form, bei der die Hauptflächen und die Endflächen nicht

eine solche Beziehung aufweisen, dass sie einander unter rechten Winkeln kreuzen) wird dies etwas kompliziert. Wenn in diesem Fall angenommen wird, dass der Brechungsindex des Glassubstrats für eine Wellenlänge λ des Laserstrahls, der eingeleitet wird, n_t ist, der Brechungsindex n_i eines externen Mediums (Luft), das in Kontakt mit dem Glassubstrat gelangt, n_1 ist, und der Winkel, unter dem das Licht auf die Hauptflächen und die Endflächen des Glassubstrats fällt, θ_{ik} ist (k bezeichnet eine Position, an der der Laserstrahl auf die Hauptflächen und die Endflächen fällt, nachdem er in das Glassubstrat eingeleitet wurde, und die Einfallspalten k sind sequentiell als $k = 1, 2, \dots$ festgelegt), wird die Lichteinsperrung nicht verwirklicht, es sei denn, dass der Laserstrahl so eingeleitet wird, dass jedes θ_{ik} gleich dem durch $\sin\theta = n_i/n_t$ dargestellten kritischen Winkel θ oder größer als dieser ist. Wie vorstehend erwähnt wurde, ist der Fall, in dem die Hauptflächen und die Endflächen eine solche Beziehung aufweisen, dass sie einander unter rechten Winkeln kreuzen, in Bezug auf die Lichteinsperrung wirksamer.

[0110] Wie in [Fig. 1](#) dargestellt ist, wiederholt der von der Beleuchtungseinrichtung in das transparente Substrat (Glassubstrat) **1** eingeleitete Laserstrahl die Totalreflexion an den Hauptflächen und den Endflächen des Substrats **1** und tritt in einen Zustand ein, in dem das Licht in dem Substrat **1** fast eingesperrt ist. Der Zustand, in dem das Licht fast eingesperrt ist, bedeutet, dass sich der eingeleitete Laserstrahl in dem transparenten Substrat ausbreitet und die Totalreflexion wiederholt und sich weiter in dem transparenten Substrat ausbreitet, bis das Licht auf den abgechrägten Abschnitt fällt, der als eine Einleitfläche dient, nämlich solange, wie es auf die Hauptflächen und die Endflächen fällt. Daher wird der in Y-Richtung einfallende Laserstrahl überall abgetastet, so dass er in einem Bereich (dem Messbereich) eines durch Schneiden des Substrats **1** in Y-Richtung durch die Ausbreitung infolge der Totalreflexion des Lichts selbst erhaltenen Querschnitts (YZ-Querschnitts) verbreitert wird.

[0111] Wie vorstehend erwähnt wurde, wiederholt der in das Glassubstrat eingeleitete Laserstrahl die Totalreflexion an den Hauptflächen und den Endflächen des Glassubstrats und tritt in den Zustand ein, in dem der Laserstrahl fast in dem Glassubstrat eingesperrt ist. Falls sich auf der Glasoberfläche jedoch infolge einer Mischung von Fremdstoffen beim Polieren ein Kratzer oder dergleichen befindet, sind die Totalreflexionsbedingungen nicht erfüllt, so dass das Licht aus einem Abschnitt des Kratzers herausleckt. In Bezug auf einen Defekt des Glases, in dem die Transmission gleich ist, jedoch der Brechungsindex allein verschieden ist, was auch für die Schlieren des Glases besonders ist, verlässt das Licht eine natürliche Bahn (den optischen Weg) an einem Abschnitt, an dem der Brechungsindex verschieden ist, und

leckt aus dem Substrat **1** heraus, ohne an den Hauptflächen und Endflächen totalreflektiert zu werden. Das Licht wird durch die Erfassungseinrichtung erfasst.

[0112] Infolge der Lichteinstrahlung in dem erwähnten einen Querschnitt kann die Inspektion einer von der Seite der Hauptfläche beobachteten Linie ausgeführt werden. Der Inspektionsprozess wird ausgeführt, indem der Tisch **5** durch die Antriebseinrichtung **4** in Richtung (X-Richtung) einer Seite **1a** des Substrats **1** bewegt wird, so dass die Ungleichmäßigkeit des gesamten Bereichs des Substrats **1** inspiziert werden kann. Das heißt, dass es sich dabei um ein Verfahren zum Inspizieren einer Ungleichmäßigkeit handelt, bei dem in einem Inspektionsbereich eines Substrats, das von Hauptflächen in Gestalt eines Paares totalreflektierender Flächen und Endflächen in Gestalt eines bestimmten Paares von Wendeflächen des Substrats sandwichförmig eingeschlossen ist, eine Ungleichmäßigkeit (ein Defekt) auf einer bestimmten Ebene in dem mit Licht gefüllten Inspektionsbereich durch Ausbreiten des Lichts in dem Substrat inspiziert wird und anschließend die inspizierte Ebene in Bezug auf das Substrat in die Richtung bewegt wird, die es ermöglicht, dass der Inspektionsbereich mit Licht gefüllt wird.

[0113] Ein durch die Inspektionsvorrichtung erfasstes Ergebnis ist in den [Fig. 4](#) und [Fig. 5](#) dargestellt. [Fig. 4](#) zeigt ein Bild eines Kratzers an der Oberfläche des Glassubstrats, der durch die CCD **6** erfasst wurde. [Fig. 5](#) ist eine Graphik, die durch Anwenden eines Bildverarbeitungsprozesses auf Informationen des von der CCD erfassten Lichts auf einer bestimmten Seite in Breitenrichtung des Kratzers durch einen Computer über einen A/D-Wandler (Analog-Digital-Wandler) erhalten wurde. Die dabei verwendete CCD ist eine CCD des Zwischenzeilensystems (ohne einen mechanischen Verschluss), in der eine thermoelektrische Kühlfunktion montiert ist und bei der die Anzahl der Elemente 1300×1030 beträgt, die Erfassungsfläche $8,71 \times 6,90$ mm beträgt und der Sättigungswert 20000 Elektronen beträgt. In Bezug auf die Messbedingungen sei bemerkt, dass die Belichtungszeit der CCD auf 200 ms gelegt ist.

[0114] Die X-Achse aus [Fig. 5](#) bezeichnet eine Koordinate in Breitenrichtung des Kratzers. Die Y-Achse bezeichnet die Intensität des erfassten Lichts. Die Skaleneinheit der X-Achse ist ein Pixel. Weil bei der Inspektionsvorrichtung eine Objektivlinse mit einer Vergrößerung von 50 (50fach) und eine Bilderzeugungslinse mit einer Vergrößerung von 0,45 (0,45fach) verwendet werden, beträgt ein Pixel $6,7 \mu\text{m}/(50 \times 0,45)$, so dass es etwa $0,3 \mu\text{m}$ entspricht. ($6,7 \mu\text{m}$ gibt die Größe eines Pixels der CCD an.) Die Lichtintensität wird mit 12 Bits ($4096 : 1$) aufgelöst, und eine Skala bezeichnet ($20000/4095$)·Y(Y:Skala) Elektronen. Wie anhand [Fig. 5](#) offensichtlich sein

wird, beträgt der Spitzenwert der Intensität des aus dem Kratzer herausleckenden Lichts $(20000/4095) \times 4095 = 20000$ Elektronen, welcher den zulässigen Wert der CCD überschreitet, und die Lichtintensität in einem von dem Kratzer verschiedenen Bereich beträgt 0. Wie vorstehend erwähnt wurde, wird bei einem Bild, das durch die Erfassungseinrichtung erfasst wird, der ungleichmäßige Abschnitt, in dem der Kratzer oder dergleichen vorhanden ist, in linearer Form oder in Punktform vor einem schwarzen Hintergrund hell sichtbar. Der ungleichmäßige Abschnitt in der Art eines Kratzers kann in dem erhaltenen Bild klar erkannt werden. Wenn in diesem Fall die Ausbreitung infolge der Totalreflexion in dem Glassubstrat betrachtet wird, geschieht es, mit Ausnahme einer sehr kleinen Absorption in dem gleichmäßigen Abschnitt nicht, dass das Licht in dem Substrat während der Ausbreitung abgeschwächt wird, so dass das Licht in dem Glassubstrat weiterläuft. Daher konzentriert sich fast das gesamte eingestrahle Licht in dem ungleichmäßigen Abschnitt. Der ungleichmäßige Abschnitt erscheint bei einem sehr klaren Kontrast scharf. Daher kann ein winziger Kratzer oder dergleichen mit hoher Empfindlichkeit erfasst werden.

[0115] [Fig. 6](#) zeigt ein durch ein optisches Mikroskop betrachtetes Bild eines Kratzers ähnlich dem aus [Fig. 4](#) (Reflexion-Hellfeld). [Fig. 7](#) ist eine Graphik, in der das Bild dargestellt ist, an dem der Bildverarbeitungsprozess ähnlich dem in [Fig. 5](#) ausgeführt wurde. Wie anhand der [Fig. 6](#) und [Fig. 7](#) verständlich sein wird, werden Signale des Kratzers durch Signale aus dem Hintergrund vergraben, und der Kratzer kann durch das Verfahren nicht erfasst werden. Wenn die Kratzer aus den [Fig. 4](#) und [Fig. 6](#) durch ein Atomkraftmikroskop (AFM) betrachtet werden, wird jeder von ihnen als ein Kratzer bestätigt, bei dem die Breite $0,13 \mu\text{m}$ beträgt und die Tiefe $0,0013 \mu\text{m}$ beträgt.

[0116] Wenn es gemäß der vorstehenden Ausführungsform erwünscht ist, den Einfallswinkel θ_i des Laserstrahls auf das transparente Substrat **1** zu bestätigen, kann, wie beispielsweise in [Fig. 2](#) dargestellt ist, solange ein keilförmiges optisches Element **8** über Anpassungsöl oder dergleichen auf der Substratoberfläche angeordnet ist, der Einfallswinkel θ_i anhand des Brechungsindex γ des vom optischen Element **8** emittierten Lichts oder eines Scheitelwinkels des optischen Elements **8** erhalten werden. Wenn etwas in der Art des optischen Elements **8** als ein Eintrittsfenster verwendet wird, um das Inspektionslicht in das Substrat einzuleiten, kann das Licht auch von anderen Abschnitten als den abgeschrägten Abschnitten (C-Ebenen) des Substrats eingeleitet werden.

[0117] [Fig. 8](#) zeigt eine Beziehung zwischen einem S/N-Verhältnis und einer normierten Belichtungszeit, wenn ein beliebiger Kratzer betrachtet wird, und es

wird ein dem vorstehend erwähnten ähnlicher Bildverarbeitungsprozess ausgeführt, um die Differenz zwischen einem Fall, in dem die Ungleichmäßigkeit bei einer herkömmlichen normalen Beleuchtung durch das optische Mikroskop erfasst wird, und einem Fall, in dem die Ungleichmäßigkeit durch das erfindungsgemäße Inspektionsverfahren erfasst wird, zu erhalten. In diesem Fall ist die normierte Belichtungszeit als (Belichtungszeit der CCD)/(maximale Belichtungszeit der CCD, bis die Signale im Hintergrund $(20000/4095) \times 100$ Elektronen erreichen) definiert und das S/N-Verhältnis auf $10 \cdot \log_{10}(S/N)$ gelegt. Wie anhand [Fig. 8](#) offensichtlich sein wird, liegt das Maximum beim Inspektionsverfahren mit der herkömmlichen normalen Beleuchtung, selbst dann, wenn die normierte Belichtungszeit verlängert wird, bei höchstens 3 dB. Beim Inspektionsverfahren gemäß der vorliegenden Erfindung übersteigt das S/N-Verhältnis daher 30 dB. Beim erfindungsgemäßen Inspektionsverfahren ist das S/N-Verhältnis auf höchstens 36 dB begrenzt. Dies liegt daran, dass der Sättigungswert der CCD-Kamera begrenzt ist. Es wird davon ausgegangen, dass ein 36 dB übersteigendes S/N-Verhältnis tatsächlich erhalten wird. (Es wird davon ausgegangen, dass der Grund dafür, dass das S/N-Verhältnis bei der normalen Beleuchtung einen Minuswert angibt, darin besteht, dass das Signal des Kratzers in Rauschen vergraben ist.) Beim erfindungsgemäßen Inspektionsverfahren übersteigt das S/N-Verhältnis daher 4,8 dB (das Signal für den Hintergrund gleicht einem Betrag, der drei Mal so groß ist wie derjenige des Rauschens), was im Allgemeinen als ein bisher bei der Bildverarbeitung möglicher Wert bekannt ist, so dass das Vorhandensein oder Nichtvorhandensein, die Art und die Größe der Ungleichmäßigkeit in dem transparenten Material genau festgestellt werden können.

[0118] Bei der vorstehenden Ausführungsform ist der Einfallswinkel θ_i auf $44,1^\circ$ gelegt. Der optimale Einfallswinkel, bei dem die Totalreflexion öfter wiederholt wird, kann leicht durch nachstehend dargestellte Simulationen ausgewählt werden. Die durch Simulieren einer Situation, in der sich das Licht in dem transparenten Substrat ausbreitet, erhaltenen Ergebnisse werden nachstehend erklärt.

[0119] Zuerst wird ein Berechnungsergebnis beschrieben, bei dem sich das Licht entlang einer Seite (in y-Achsenrichtung) des transparenten Substrats **1** ausbreitet, wie in [Fig. 9](#) dargestellt ist. In den Simulationen betragen die Abmessungen des transparenten Substrats **1** $152,4 \times 152,4 \times 6,35 \text{ mm}$, was denjenigen des Glassubstrats für die Photomaske gemäß der vorstehenden Ausführungsform gleicht. Die Breite der C-Ebene ist auf $0,4 \text{ mm}$ gelegt. Der Brechungsindex des transparenten Substrats **1** beträgt 1,47, wobei es sich um den Brechungsindex von Quarzglas handelt, und der Brechungsindex um das transparente Substrat **1** herum beträgt 1,00, wobei es

sich um den Brechungsindex von Luft handelt. Ein Vektor (Einheitsvektor), der die Richtung des Strahls angibt, der auf die C-Ebene fällt (welcher einen Winkel von 45° gegenüber der Hauptfläche und der T-Ebene bildet), die durch Abschrägen des transparenten Substrats **1** erhalten wurde, ist auf (0,0000000, 0,6864532, -0,7271740) gelegt. [Fig. 10](#) zeigt die Ergebnisse der Simulationen.

[0120] In [Fig. 10](#) ist der Einfallswinkel der Einfallswinkel auf die Fläche (Hauptfläche), auf die der Strahl zuerst fällt, nachdem er in das Substrat **1** eingetreten ist. Der Einfallswinkel wird um jeweils 0,05 Grad geändert. Die z-Koordinate bei der Emission gibt eine z-Koordinate an, bei der der Strahl von dem transparenten Substrat **1** emittiert wird, und die Bodenfläche des Substrats **1** ist auf $z = 0$ gelegt.

[0121] [Fig. 11](#) ist eine Graphik, in der die Anzahl der Reflexionen an den Flächen bei den jeweiligen Einfallswinkeln dargestellt ist. Wie anhand [Fig. 11](#) verständlich sein wird, ist es ausreichend, dass der Einfallswinkel, bei dem die Anzahl der Reflexionen an den Flächen zunimmt, entsprechend der Form oder dergleichen des transparenten Substrats ausgewählt wird. Es ist auch ausreichend, dass der Einfallswinkel des eingeleiteten Lichts schwankt.

[0122] [Fig. 12](#) zeigt Zustände der Ausbreitung des Lichts in dem Substrat in einem Fall des Einfallswinkels von $43,35^\circ$. Die [Fig. 12\(1\)](#), [\(2\)](#) und [\(3\)](#) zeigen Zustände, in denen die Anzahl der Reflexionen an den Flächen auf 50, 250 und 661 (bei der Emission) gelegt ist. Bei dieser Simulation wird die Ausbreitung zum Vereinfachen der Berechnung nur in dem Bereich des Querschnitts einer Ebene (yz-Ebene) ausgeführt.

[0123] Anhand [Fig. 12](#) wird verständlich sein, dass der Lichtstrahl die Totalreflexion wiederholt und sich so ausbreitet, dass er den Bereich ausfüllt. Ähnlich der Simulation ist es, wenn das parallele Licht in eine Seite (y-Richtung) des transparenten Substrats eingeleitet wird, damit das Beleuchtungslicht auf den gesamten Bereich des transparenten Substrats fällt, ausreichend, dass das Licht unter Verwendung eines Spiegels oder dergleichen entlang einer anderen Seite (x-Richtung) getastet wird oder dass das in einer Schlitzform in x-Richtung verbreiterte Licht von der C-Ebene eingeleitet wird.

[0124] Die Ergebnisse der Simulation, die erhalten werden, wenn die Breite der C-Ebene und der Brechungsindex des Glassubstrats (entsprechend der Wellenlänge des Laserstrahls) bei der Simulation aus [Fig. 9](#) geändert werden, sind in den [Fig. 13](#), [Fig. 14](#) und [Fig. 15](#) dargestellt. Die Simulation wird unter ähnlichen Bedingungen wie bei der in [Fig. 9](#) dargestellten Simulation ausgeführt, abgesehen davon, dass der Brechungsindex des Glassubstrats 1,46 be-

trägt (entsprechend einer Wellenlänge des Laserstrahls von 543 nm) und die Breite der C-Ebene zu 0,2 mm ([Fig. 13](#)), 0,4 mm ([Fig. 14](#)) und 0,8 mm ([Fig. 15](#)) geändert ist.

[0125] Wie anhand der [Fig. 13](#) bis [Fig. 15](#) verständlich sein wird, nimmt die Anzahl der Reflexionen an den Flächen ab, wenn die Breite der C-Ebene zunimmt. Dies liegt an folgendem: Wenn sich der von der C-Ebene eingeleitete Laserstrahl in dem transparenten Substrat ausbreitet und wieder auf die C-Ebene fällt, leckt der Strahl, ohne totalreflektiert zu werden, weil das auf die C-Ebene fallende Licht unter einem Winkel einfällt, der kleiner als der kritische Winkel Θ ist. Folglich wird die Wahrscheinlichkeit, dass das sich in dem transparenten Substrat ausbreitende Licht auf die C-Ebene fällt, durch Vergrößern der Breite der C-Ebene erhöht. Daher ist es zum Erhöhen der Anzahl der Reflexionen an den Flächen des transparenten Substrats ausreichend, die Breite der C-Ebene zu verringern. Im Fall des zu dieser Zeit verwendeten Glassubstrats ($152,4 \times 152,4 \times 6,35$ mm) für die Photomaske ist es bevorzugt, dass die Breite der C-Ebene 0,4 mm oder weniger beträgt, weil das transparente Substrat ausreichend mit dem Licht gefüllt wird, solange die Anzahl der Reflexionen an den Flächen etwa 300 beträgt.

[0126] Wenn die [Fig. 11](#) und [Fig. 14](#), bei denen die Breite der C-Ebene jeweils 0,4 mm beträgt, verglichen werden, ergibt sich, dass der kritische Winkel für das Erfüllen der Totalreflexionsbedingungen durch Ändern des Brechungsindex (oder der Wellenlänge des Laserstrahls (weil der Brechungsindex des transparenten Substrats durch die Wellenlänge des Laserstrahls festgelegt ist)) des transparenten Substrats geändert wird, so dass die Anzahl der Reflexionen an den Flächen eingestellt werden kann. In Bezug auf den kritischen Winkel für das Erfüllen der Totalreflexionsbedingungen sei bemerkt, dass der Freiheitsgrad für den kritischen Winkel zunimmt, wenn die Differenz zwischen dem Brechungsindex des transparenten Substrats und demjenigen des externen Mediums (beispielsweise der Luft) des transparenten Substrats größer wird. Entsprechend dem vorstehend Erwähnten nimmt auch die Anzahl der Reflexionen an den Flächen zu. Tatsächlich tritt jedoch ein Fall auf, in dem das Material des transparenten Substrats abhängig von der Verwendung beschränkt ist. Daher kann die Anzahl der Reflexionen an den Flächen gewöhnlich durch geeignetes Auswählen der Wellenlänge des Laserstrahls eingestellt werden. Als eine Wellenlänge des Laserstrahls ist die Wellenlänge, bei der die Absorption für das transparente Substrat gering ist, bevorzugt. Weil sie von der Auflösung der Ungleichmäßigkeit beeinflusst wird, wird die Wellenlänge des Laserstrahls unter Berücksichtigung der folgenden Punkte ausgewählt.

[0127] [Fig. 16](#) zeigt Ortskurven des in das transpa-

rente Substrat eingeleiteten Lichtstrahls in der allgemeinen Richtung, welche ähnlich der vorstehenden Simulation nicht parallel zu der einen Seite ist. In der Simulation ist ein Vektor, der die Richtung des Lichtstrahls angibt, welcher auf die C-Ebene des transparenten Substrats **1** fällt, auf (0,6924, 0,3823, -0,6117) gelegt, und die anderen Bedingungen mit Ausnahme der vorstehend erwähnten gleichen jenen der Simulation ([Fig. 9](#)). Wie in dem Diagramm dargestellt ist, wiederholt der eingeleitete Lichtstrahl die Totalreflexion in dem transparenten Substrat **1** und wird in dem Substrat im Wesentlichen eingesperrt, so dass sich das Licht im gesamten Bereich des Substrats ausbreitet. Selbst wenn daher überhaupt keine Abtastung des Beleuchtungslichts ausgeführt wird, kann der gesamte Bereich des transparenten Substrats als ein Inspektionsbereich in einem Stück mit hoher Geschwindigkeit inspiziert werden.

[0128] In Hinblick auf die Vereinfachung des Inspektionsverfahrens ist der Fall, in dem eine bestimmte Fläche des transparenten Materials festgelegt wird, wie in der vorstehenden Ausführungsform dargestellt ist, der die Totalreflexionsbedingungen erfüllende Einfallswinkel in der Fläche bestimmt wird, das Licht eingeleitet wird und anschließend die Einfallsposition des Lichts entsprechend der Form des transparenten Materials verschoben wird, gegenüber dem Fall bevorzugt, in dem dreidimensionale Richtungsvektoren (x, y, z) des einfallenden Lichts so festgelegt werden, dass das eingeleitete Licht den gesamten Bereich in dem transparenten Material abdeckt und das Licht von einem bestimmten Punkt auf dem Substrat eingeleitet wird, weil das Inspektionsverfahren dadurch vereinfacht werden kann. Wenn das transparente Material das Substrat mit den Flächen ist, die einander zugewandt sind, ist dies besonders wirksam.

[0129] Bei der vorstehenden Ausführungsform wurde das Beispiel erwähnt, in dem der Laserstrahl von einer Seite **1a** des transparenten Substrats **1** eingeleitet wurde. Die Erfindung ist nicht auf den vorstehenden Fall beschränkt, sondern es ist auch ausreichend, dass die Inspektion durch Einleiten des Lichts aus der Richtung einer Seite **1b** oder aus beiden Richtungen der Seiten **1a** und **1b** ausgeführt wird. Wenn die Inspektion durch Einleiten des Lichts aus den beiden Richtungen der Seiten **1a** und **1b** ausgeführt wird, ist es wirksam, einen Defekt mit einem Richtungssinn oder dergleichen zu erfassen, und die Inspektion kann mit höherer Genauigkeit ausgeführt werden, so dass dies bevorzugt ist.

[0130] Wie vorstehend erwähnt wurde, ist die vorliegende Erfindung in Bezug auf die Erfassung eines Defekts, der für das Licht einen Richtungssinn aufweist, welcher erfasst werden kann, weil er in einer bestimmten Bestrahlungsrichtung leuchtet, jedoch in den anderen Bestrahlungsrichtungen nicht erfasst werden kann, weil er nicht leuchtet, sehr wirksam,

was für einen Glaskratzer charakteristisch ist. Dies liegt an folgendem: Weil das Licht in dem aus dem transparenten Material hergestellten Inspektionsobjekt durch geometrisches und optisches Wiederholen der Totalreflexion im Wesentlichen eingesperrt wird, wird das eingestrahlte Licht aus geometrischen und optischen Gründen nur in dem ungleichmäßigen Abschnitt des Inspektionsobjekts von der natürlichen Bahn abgelenkt und leckt aus dem Inspektionsobjekt. Selbst wenn der einzige ungleichmäßige Abschnitt der Defekt mit dem Richtungssinn für das Licht ist, wird der ungleichmäßige Abschnitt beim Vorgang des Wiederholens der Totalreflexion aus verschiedenen Richtungen beleuchtet. Weil das Licht beim herkömmlichen Verfahren konvergiert wird, um den Kontrast zu erhöhen, und das Licht aus einer Richtung eingestrahlt wird, kann ein Defekt mit dem Richtungssinn nur schwer erfasst werden, selbst wenn der Defekt verhältnismäßig groß ist.

[0131] Weiterhin sei in Bezug auf den Defekt des Glases, bei dem der Transmissionsgrad gleich ist, jedoch der Brechungsindex allein verschieden ist, was für Glasschlieren charakteristisch ist, bemerkt, dass das Licht in einem Abschnitt, in dem der Brechungsindex verschieden ist, von der natürlichen Bahn abgelenkt wird und aus dem Inspektionsobjekt herausleckt, so dass der Defekt erfasst werden kann. Beim herkömmlichen Verfahren zum Erfassen einer Lichtmenge in der Art der Reflexionsausgabe oder der Transmissionsausgabe des konvergierten Lichts ist die Erfassung jedoch prinzipiell unmöglich.

[0132] Bei Verwendung des Inspektionsverfahrens gemäß der vorstehend erwähnten Ausführungsform kann das Glassubstrat mit dem Defekt schnell und geeignet ausgeschlossen werden, so dass die Produktivität für das Glassubstrat verbessert werden kann. Durch erneutes genaues Spiegelpolieren und Reinigen des Glassubstrats mit einem Defekt in der Art eines Kratzers auf der Oberfläche kann es in einem Spezifikationsbereich zu einem Glassubstrat für eine Photomaske geformt werden.

[0133] Das vorstehende Inspektionsverfahren wird in dem Inspektionsprozess nach dem Herstellungsprozess des Glassubstrats als ein transparentes Substrat für die Photomaske verwendet. Abhängig von Unterschieden der Verarbeitungsgenauigkeit (gewöhnlich beträgt die Toleranz des Glassubstrats für die Photomaske in der Länge etwa $\pm 0,4$ mm und in der Dicke etwa $\pm 0,1$ mm) tritt eine Änderung der Größe (Länge oder dergleichen) des Glassubstrats auf. Wenn daher verschiedene Größen der Glassubstrate nacheinander einzeln aufgegriffen werden, die optimalen Totalreflexionsbedingungen für jedes der Glassubstrate erhalten werden und sie inspiziert werden, ist dafür eine lange Zeit erforderlich, so dass dies nicht praktikabel ist. Wenn bei einem solchen Inspektionsverfahren, bei dem die genauen Abmes-

sungen der Glassubstrate gemessen werden, die Einfallbedingungen, unter denen die Totalreflexion in höherem Maße auftritt, herausgegriffen werden, ist nach dem Einfallen des Laserstrahls vor der Inspektion eine zusätzliche Zeit von $\{(Zeit\ für\ das\ Messen\ der\ Abmessungen\ des\ Glassubstrats) + (Simulationszeit)\} \times (Anzahl\ der\ inspizierten\ Substrate)$ erforderlich.

[0134] In diesem Fall kann durch Ändern des Einfallswinkels des Laserstrahls, der in das Glassubstrat eingeleitet wird, in einem Bereich, in dem die Totalreflexion an den Hauptflächen (der Fläche und der hinteren Fläche) und den Endflächen (von den C-Ebenen verschieden) erfolgt und das Licht zumindest zwischen dem Paar von Endflächen, auf die der Laserstrahl fällt, reflektiert wird, die optische Ungleichmäßigkeit des Glassubstrats selbst dann, wenn eine Änderung der Abmessungen der Glassubstrate auftritt, mit hoher Empfindlichkeit und hoher Geschwindigkeit erfasst werden, so dass ein Ungleichmäßigkeits-Inspektionsverfahren und eine entsprechende Vorrichtung mit einer hohen Nützlichkeit bereitgestellt sind.

[0135] Das heißt, dass sich der Einfallswinkel in einem Bereich ändert, in dem die Totalreflexion an der Oberfläche des transparenten Materials auftreten kann und das Licht in das transparente Material eingeleitet wird, wenn der optische Weg in dem transparenten Material optisch gleichmäßig ist. Folglich wird das in einer vorgegebenen Richtung einfallende Licht selbst dann, wenn eine Änderung der Abmessungen der transparenten Materialien auftritt und die optimalen Totalreflexionsbedingungen für die transparenten Materialien etwas abweichen, nicht eingeleitet, sondern es wird das Licht mit verschiedenen Einfallswinkeln eingeleitet und breitet sich über verschiedene Wege aus, während es totalreflektiert wird, so dass das Licht zu den Ecken des transparenten Materials ausgebreitet wird, ohne zu lecken.

[0136] Zum Ändern des Einfallswinkels für das Substrat, ähnlich der Winkeleinrichtung in [Fig. 1](#), kann auch eine Maschine, die mit einem Computer oder dergleichen verbunden ist und die den Winkel automatisch steuern kann, welche an dem Spiegel angebracht ist, wobei ein Winkeleinstellmechanismus für den Laser selbst oder den Halter für das Halten des Substrats bereitgestellt ist, oder eine Einrichtung in der Art eines akustooptischen Polariskops zum Ändern des Einfallswinkels unter Verwendung des akustooptischen Effekts des Ultraschallstrahls verwendet werden. Bei dem vorstehend erwähnten Glassubstrat ($152,4 \times 152,4 \times 6,35$ mm) für die aus Quarzglas hergestellte Photomaske ist es beispielsweise erwünscht, dass der Einfallswinkel θ_i des Laserstrahls schrittweise in einem Bereich von $45,0^\circ$ bis $44,0^\circ$ geändert wird.

[0137] Das Einleiten des Laserstrahls in das transparente Material wird auf der Grundlage von Informationen über das transparente Material ausgeführt. Insbesondere dann, wenn mehrere transparente Materialien inspiziert werden, kann die Inspektion daher wirksam ausgeführt werden.

[0138] In diesem Fall geben die Informationen des transparenten Materials die relative Positionsbeziehung zwischen dem transparenten Material und der Beleuchtungseinrichtung, den Zustand der Oberfläche des transparenten Materials (ob sie spiegelpoliert ist) oder dergleichen an. Die Informationen in Bezug auf die relative Positionsbeziehung zwischen dem transparenten Material und der Beleuchtungseinrichtung sind erforderlich, um das Licht von der Beleuchtungseinrichtung geeignet an einer vorgegebenen Position des transparenten Materials einzuleiten. Wenn sich die Oberfläche nicht im Spiegelzustand befindet, ist es schwierig, die Ungleichmäßigkeit des transparenten Materials zu erfassen. Daher können die Informationen in Bezug auf den Oberflächenzustand des transparenten Materials verwendet werden, wenn ein solches Substrat zuvor abgeschlossen wurde (falls erforderlich, wird es zum vorhergehenden Prozess (Polieren oder dergleichen) zurückgeführt).

[0139] Durch Bereitstellen einer Positionserfassungseinrichtung zum Erfassen der relativen Positionsbeziehung zwischen dem transparenten Material und der Beleuchtungseinrichtung und einer Übertragungseinrichtung zum Übertragen von der Positionserfassungseinrichtung erhaltener Informationen zur Beleuchtungseinrichtung kann die Inspektion wirksam ausgeführt werden, wenn mehrere Materialien inspiziert werden. In diesem Fall ist die Positionserfassungseinrichtung eine Abstandsmessvorrichtung unter Verwendung des Laserstrahls (ein Laser-scann-Messsystem, eine Laser-Interferenzmessvorrichtung oder dergleichen). Die Übertragungseinrichtung ist ein Computer zum Abrufen von Daten von der Positionserfassungseinrichtung und zum Zurückführen zur Beleuchtungseinrichtung, zur Winkeleinrichtung, zur Bewegungseinrichtung für das Verschieben der Einfallposition des eingeleiteten Lichts und dergleichen. Es ist auch ausreichend, eine Vorrichtung in der Art einer Fernsehkamera oder eines Bildsensors einer CCD-Bildaufnahmeverrichtung für das Beobachten des Oberflächenzustands des transparenten Materials und für das Entfernen beispielsweise des Inspektionsobjekts, das nicht spiegelpoliert ist, bereitzustellen.

[0140] Es ist erwünscht, eine Feststelleinrichtung zum Feststellen des Vorhandenseins oder Nichtvorhandenseins, der Art und der Größe der Ungleichmäßigkeit des transparenten Materials auf der Grundlage der Informationen des von der Erfassungseinrichtung erfassten Lichts bereitzustellen.

[0141] Die Beziehung (Informationen) zwischen dem Vorhandensein oder Nichtvorhandensein, der Art (Kratzer oder Riss des Oberflächenabschnitts, innere Schlieren oder Fremdstoffe) und der Größe (Fläche, Länge, Breite, Tiefe, Bereich oder dergleichen) der zuvor in dem transparenten Material vorhandenen Ungleichmäßigkeit und den Informationen des Lichts, das aus der Oberfläche herausleckt (Lichtmenge, Leuchtkraft, Intensitätsverteilung, Tiefe von der Oberfläche des leckenden Lichts) wurde in dem Computer oder dergleichen gespeichert. Durch Vergleichen der Informationen des durch die Inspektion erfassten Lichts und der gespeicherten Informationen können das Vorhandensein oder Nichtvorhandensein, die Art und die Größe der Ungleichmäßigkeit des transparenten Materials festgestellt werden. Durch Feststellen des Vorhandenseins oder Nichtvorhandenseins, der Art und der Größe der Ungleichmäßigkeit des transparenten Materials kann ein gewünschtes transparentes Material sofort entnommen werden. Folglich kann das Glassubstrat mit der Ungleichmäßigkeit, das einen Einfluss auf die Zeit für die Bildung des Musters oder die Belichtung für ein Übertragungsobjekt ausübt, vor dem nächsten Prozess nach der Inspektion ausgeschlossen werden oder auch zu dem Neupolierprozess zurückgeführt werden, so dass die Produktivität verbessert werden kann.

[0142] Das Feststellungsverfahren wird nun unter Verwendung der Inspektionsvorrichtung aus [Fig. 1](#) spezifisch erklärt. Das aus dem Substrat **1** herausleckende Licht wird durch das Linsensystem **7** als ein Bild auf der Oberfläche der CCD **6** der CCD-Kamera gebildet. Wie vorstehend erwähnt wurde, wird der Verschluss der CCD-Kamera für einen Zeitraum geöffnet, während der Laserbestrahlungsbereich einer Zeile über die gesamte Hauptfläche des Substrats **1** getastet wird, und es werden Bilddaten der gesamten Hauptfläche des Substrats **1** gesammelt. Die in der CCD-Kamera erfassten Bilddaten werden durch den A/D-Wandler **11** in ein Digitalsignal umgewandelt, das umgewandelte Signal wird in die Bildverarbeitungsvorrichtung **12** eingegeben und in der Speichereinheit gespeichert, und es wird eine Bildanalyse durch die Feststellungseinheit ausgeführt. In der Feststellungseinheit werden durch Vergleichen der Bilddaten des bei der Inspektion erfassten Lichts mit Grunddaten der Bildinformationen, die zuvor in die Speichereinheit eingegeben wurden, das Vorhandensein oder Nichtvorhandensein, die Art und die Größe des transparenten Substrats **1** festgestellt. Das Ausmaß der Bewegung (Informationen zur Bestrahlungsposition des Substrats **1**) des Tisches **5** oder dergleichen werden von einem Laserinterferometer (nicht dargestellt) oder dergleichen in die Bildverarbeitungsvorrichtung **12** eingegeben. Anhand der Bilddaten der CCD-Kamera und der Positionsdaten des Substrats **1** werden die Art und die Größe des ungleichmäßigen Abschnitts und seine Position (x, y)

auf dem Substrat **1** erhalten.

[0143] Wenn der ungleichmäßige Abschnitt in dem Bestrahlungsbereich des Substrats **1** existiert, ist er (und seine Umgebung) in einer Punktform hell sichtbar. Wenn sie durch das optische Mikroskop vergrößert werden, werden Bilder, wie sie in [Fig. 17](#) dargestellt sind, beobachtet (die Bilder in [Fig. 17](#) sind durch Hell-Dunkel-Umkehrung der tatsächlich beobachteten Bilder dargestellt). Ein lineares Bild **41**, wie es in [Fig. 17\(a\)](#) dargestellt ist, ist ein Kratzer an der Oberfläche des Substrats **1**. Als Beispiel betragen die Länge 30 μm , die Breite 0,2 μm und die Tiefe 0,002 μm (die Größe eines solchen feinen Kratzers wurde durch ein Atomkraftmikroskop gemessen). Viele aufgenommene Bilder **42**, wie in [Fig. 17\(b\)](#) dargestellt ist, werden durch Schlieren oder Fremdstoffe wie beispielsweise von Gasen in dem Substrat **1** hervorgerufen. Der Durchmesser beträgt beispielsweise etwa 1 mm. Wie vorstehend erwähnt wurde, kann die Art der Ungleichmäßigkeit festgestellt werden, weil sich das Muster oder die Größe des Bilds abhängig von der in dem Substrat **1** vorhandenen Ungleichmäßigkeit ändert. Weil weiterhin die durch Schlieren hervorgerufenen Bilder **42**, anders als das durch den Kratzer hervorgerufene Bild **41**, leuchten, kann dies auch anhand der Leuchtkraft- oder Intensitätsverteilung des Bilds festgestellt werden.

[0144] Die Größe des ungleichmäßigen Abschnitts kann anhand der erfassten Lichtmenge festgestellt werden. Weiterhin kann anhand des Orts (der Tiefe), an dem ein Brennpunkt durch Fokussieren auf helle punktförmige Abschnitte des Substrats **1** erhalten wird, durch das optische Mikroskop festgestellt werden, ob sich die Position, an der die Ungleichmäßigkeit existiert, auf dem Oberflächenabschnitt des Substrats **1** (Kratzer oder Riss) oder in dem Substrat **1** (Schlieren oder Fremdstoffe) befindet. In Bezug auf die Inspektion der Ungleichmäßigkeit sei bemerkt, dass es zum Verwirklichen eines schnellen Prozesses erwünscht ist, dass zuerst inspiziert wird, ob das helle, punktförmige leckende Licht an der Oberfläche des Substrats **1** existiert und helle, punktförmige Abschnitte nur für das Substrat **1**, in dem das leckende Licht erfasst wurde, durch Vergrößern mit dem optischen Mikroskop oder dergleichen weiter inspiziert werden.

[0145] Zum Feststellen der Ungleichmäßigkeit können genaue Informationen des leckenden Lichts selbst im Fall einer einen Richtungssinn aufweisenden Ungleichmäßigkeit (Defekt) erhalten werden, wenn das Licht von den verschiedenen Einfallspositionen und aus verschiedenen Richtungen (zwei Richtungen) in das Substrat **1** eingeleitet wird. Weil das Vorhandensein oder Nichtvorhandensein, die Art und die Größe der Ungleichmäßigkeit genau festgestellt werden können, ist dies folglich bevorzugt. Als ein Verfahren zum Einleiten des Lichts wird, wie in

Fig. 18 dargestellt ist, ein Laserstrahl L1 in Richtung (X-Richtung) der Seite **1a** des transparenten Substrats **1** eingeleitet und gleichzeitig ein Laserstrahl L2 in Richtung (Y-Richtung) der Seite **1b** des Substrats eingeleitet, oder es ist auch ausreichend, dass die Laserstrahlen der verschiedenen Richtungen aus jeder Richtung (X- und Y-Richtung oder dergleichen) in das Substrat **1** eingeleitet werden, wodurch inspiziert wird.

[0146] Wie in **Fig. 19** dargestellt ist, können die Art und die Größe der Ungleichmäßigkeit durch ein optisches Bilderzeugungssystem **16**, eine CCD-Kamera **17** und eine Bildverarbeitungsvorrichtung **18** in einer der vorstehend erwähnten ähnlichen Art festgestellt werden, wenn die Ungleichmäßigkeit durch Einleiten eines Laserstrahls L von dem Eckabschnitt des transparenten Substrats **1**, beispielsweise unter Verwendung eines Lasers **13** und der Spiegel **14** und **15**, inspiziert wird.

[0147] Wenngleich gemäß der vorstehenden Ausführungsform das Beispiel erwähnt wurde, in dem die Inspektion durch Einleiten des Laserstrahls nur in y-Richtung des Substrats **1** ausgeführt wurde, ist es nicht erforderlich, dass die Einfallspositionen verschieden gemacht werden, wenn der Laserstrahl von den verschiedenen Einfallspositionen und verschiedenen Richtungen in das Substrat **1** eingeleitet wird. Beispielsweise kann die erfindungsgemäße Wirkung, dass die Ungleichmäßigkeit mit einem Richtungssinn sicher erfasst werden kann, selbst dann erreicht werden, wenn die Laserstrahlen L1 und L2 von derselben Einfallsposition des Substrats **1** mit verschiedenen von der Seite der Hauptfläche des Substrats **1** beobachteten Richtungen eingeleitet werden, wie in **Fig. 20** dargestellt ist.

[0148] Wenngleich das Einleiten des Laserstrahls in das transparente Substrat von dem abgeschrägten Abschnitt als eine C-Ebene gemäß der vorstehenden Ausführungsform ausgeführt wurde, ist es auch möglich, den Strahl von anderen Ebenen als den abgeschrägten Abschnitten einzuleiten. In diesem Fall ist es ausreichend, dass als ein Eingangsfenster zum Einleiten des Laserstrahls ein optisches Element aus einem Material, das im Wesentlichen den gleichen Brechungsindex aufweist wie das transparente Substrat, durch einen Klebstoff oder dergleichen angebracht wird. Zum Vereinfachen des Inspektionsverfahrens und zum Inspizieren der Ungleichmäßigkeit des gesamten Bereichs in dem transparenten Substrat durch häufigeres Wiederholen der Totalreflexion ist es erwünscht, den Laserstrahl vom abgeschrägten Abschnitt als eine C-Ebene einzuleiten. Der Grund hierfür besteht darin, dass das sich in dem transparenten Substrat ausbreitende Licht die Totalreflexionsbedingungen in einem Abschnitt des optischen Elements nicht erfüllt, wenn das optische Element mit dem Eintrittsfenster zum Einleiten des La-

serstrahls angebracht ist, so dass das Licht aus dem Abschnitt herausleckt. Es ist bevorzugt, dass der abgeschrägte Abschnitt spiegelpoliert ist. Es ist wünschenswerter, wenn die Breite des abgeschrägten Abschnitts kleiner ist. Es ist besser, die Breite gleich 0,4 mm oder kleiner, bevorzugter 0,2 mm oder kleiner zu setzen. Wenn sie auf einen sehr kleinen Wert (kleiner als 0,1 mm) gelegt wird, ist dies nachteilig, weil beim Spiegelpolieren ein Defekt auftritt.

[0149] Es wird nun ein Verfahren zum Auswählen des transparenten Substrats, das für verschiedene Anwendungen verwendet werden kann und wobei das Inspektionsverfahren und die Inspektionsvorrichtung gemäß der Erfindung verwendet werden, mit Bezug auf die Zeichnung erklärt. **Fig. 21** ist ein Diagramm, in dem ein Flussdiagramm für den Inspektionsprozess zum Auswählen des transparenten Substrats dargestellt ist.

[0150] Ein spezifisches Auswahlverfahren, das unter Verwendung der Inspektionsvorrichtung aus **Fig. 1** ausgeführt wird, wird nun mit Bezug auf das Flussdiagramm für den Inspektionsprozess aus **Fig. 21** beschrieben.

Festlegung-Ausrichtung des Inspektionsbereichs

[0151] Als ein transparentes Substrat **1**, das als ein Inspektionsziel dient, wird ein Glassubstrat für eine Photomaske aus Quarzglas, wobei beide Hauptflächen, Endflächen und abgeschrägte Flächen spiegelpoliert sind und wobei die Größe $152,4 \times 152,4 \times 6,35$ mm beträgt und die Breite jeder C-Ebene 0,4 mm beträgt, vorbereitet.

[0152] Das Glassubstrat wird durch eine Transporteinrichtung (nicht dargestellt) transportiert, bis es in Kontakt mit einem Tischführungsstift (nicht dargestellt) gelangt, der in einer bestimmten Referenzposition der Inspektionsvorrichtung befestigt ist, wodurch das Glassubstrat positioniert wird (Prozess 1). Zu diesem Zeitpunkt werden der Ursprung und die Koordinaten in dem Glassubstrat festgelegt.

[0153] Der Inspektionsbereich wird auf der Grundlage der zuvor festgelegten Koordinaten spezifiziert. Der Inspektionsbereich stimmt nicht immer mit dem Messgesichtsfeld der CCD überein. Wenn sie nicht übereinstimmen, wird der Messbereich daher, entsprechend dem Gesichtsfeld der CCD (**Fig. 22**) in (A1, A2, A3, B1, B2, B3, ...) unterteilt (Prozess 2). In diesem Fall stimmen die unterteilten Messbereiche A1, A2, A3, B1, B2, B3, ... mit dem Messgesichtsfeld der CCD überein. Die für die Messung verwendete CCD ist die CCD des Zwischenzeilensystems (ohne einen mechanischen Verschluss), an der eine thermoelektrische Kühlfunktion angebracht ist, wobei die Anzahl der Elemente 1300×1035 beträgt und die Erfassungsfläche $8,71 \times 6,90$ mm beträgt. Das Mess-

gesichtsfeld wird bei einer Vergrößerung von 0,7 gemessen.

[0154] Die Einfallspolition und der Einfallswinkel des Laserstrahls werden so eingestellt, dass sich der Laserstrahl in dem Inspektionsbereich ausbreitet (Prozess 3). In Bezug auf die Einfallspolition und den Einfallswinkel des Laserstrahls sei bemerkt, dass Informationen über das Glassubstrat durch eine Positionserfassungseinrichtung (nicht dargestellt) zum Erfassen der relativen Positionsbeziehung zwischen dem transparenten Substrat und dem Laser erhalten werden und der Laserstrahl durch Einstellen der Spiegel und des Tisches so eingeleitet wird, dass er genau in die Glassubstrate mit verschiedenen Größen eingeleitet werden kann. Der Einfallswinkel θ_i wird auf $45,0^\circ$ gelegt, weil der Brechungsindex des Glas-substrats 1,46 beträgt und der kritische Winkel θ_c etwa $43,2^\circ$ ist.

[0155] Wenn der Laserstrahl in das Glassubstrat eingeleitet wird, wird der Einfallswinkel des Laserstrahls in einem Bereich geändert, in dem der Strahl die Totalreflexion wiederholt und sich ausbreitet (Prozess 4). Bei der Prozedur zum Inspizieren mehrerer Glassubstrate wird der Prozess selbst dann, wenn die jeweiligen Glassubstrate, abhängig von einer Differenz zwischen den Verarbeitungsgenauigkeiten, eine geringe Größenschwankung aufweisen, ausgeführt, um die Schwankung der Verarbeitungsgenauigkeiten des Glassubstrats zu absorbieren und die Ungleichmäßigkeit des Glassubstrats zu inspizieren, weil die Bahnkurve des Strahls, der sich in dem Glassubstrat fortpflanzt, durch Ändern des Einfallswinkels des Lichts in kleinen Schritten geändert wird. Der Prozess wird auch für eine Bildanpassung der CCD im nächsten Prozess ausgeführt. Als Einrichtungen zum Ändern des Einfallswinkels können auch Einrichtungen mit einer Funktion zum automatischen Einstellen des Winkels des Spiegels durch eine Computersteuerung oder dergleichen oder Einrichtungen in der Art eines akustooptischen Polariskops zum Ändern des Einfallswinkels unter Verwendung des akustooptischen Effekts des Ultraschallstrahls verwendet werden. Um eine Schwankung des Einfallswinkels zu erhalten, wird der Einfallswinkel θ_i in einem Bereich von $45,0^\circ$ bis $44,0^\circ$ schrittweise geändert, so dass er die Totalreflexion erfüllt.

[0156] Zum genauen Erkennen des Lichts, das aus dem transparenten Substrat herausleckt, nämlich seiner Ungleichmäßigkeit, wird die Fokussierung des CCD-Bilds ausgeführt (Prozess 5). Das Fokussieren wird durch integriertes Bewegen des Lasers und der Spiegel in Achsenrichtung (Richtung der Linse und der CCD) ausgeführt. Es ist auch ausreichend, wenn das Glassubstrat, die Spiegel und der Laser feststehend sind und die Linse und die CCD in z-Achsenrichtung integriert bewegt werden.

Inspektion der Ungleichmäßigkeit im Inspektionsbereich

[0157] Wie durch Vergrößern eines Teils in [Fig. 22](#) dargestellt ist, wird der Laserstrahl L von der als Einleitfläche dienenden abgeschrägten Ebene eingeleitet, so dass sich der Laserstrahl L, der bestimmte Koordinaten (A1X1, A1Y1) des Messbereichs A1 als einen der unterteilten Bereiche durchläuft und zur y-Achsenrichtung parallel ist, ausbreitet, und der Einfallswinkel in einem Bereich geändert wird, in dem der Laserstrahl die Totalreflexion wiederholt und sich in dem Glassubstrat ausbreitet (von $45,0^\circ$ bis $44,0^\circ$), wodurch die Ungleichmäßigkeit inspiziert wird. Eine ähnliche Abtastung wird ausgeführt, wobei der Laserstrahl L in x-Achsenrichtung bewegt wird, und die Inspektion der Ungleichmäßigkeit wird ausgeführt, bis der Laserstrahl die Koordinaten (A1XX, A1Y1) am Endabschnitt des Messbereichs A1 durchläuft, so dass die Inspektion der Ungleichmäßigkeit in dem Messbereich A1 abgeschlossen wird (Prozess 6). Die Belichtung der CCD wird vom Anfang bis zum Abschluss der Inspektion der Ungleichmäßigkeit im Messbereich A1 ausgeführt. Für die Inspektion der Ungleichmäßigkeit im Messbereich A1 ist es auch ausreichend, dass der Laserstrahl so einfällt, dass er (A1X1, A1Y1) durchläuft und sich parallel zur x-Achsenrichtung ausbreitet, und er wird in y-Achsenrichtung verschoben. Es ist auch ausreichend, die Laserstrahlen zu kombinieren und in den beiden Richtungen einzuleiten, die einander unter rechten Winkeln kreuzen. Wie vorstehend erwähnt wurde, wird das Licht im Fall des Einleitens aus mehreren verschiedenen Richtungen, wie von der Hauptflächenseite beobachtet, aus den mehreren Richtungen in das Glassubstrat eingestrahlt. Selbst wenn eine Ungleichmäßigkeit (ein Defekt) mit einem Richtungssinn existiert, kann sie genau erfasst werden.

Bildverarbeitungsprozess

[0158] Beim Prozess 6 werden Informationen (das Analogsignal) des Lichts, das von der CCD erfasst wurde und aus dem Glassubstrat herausgeleckt ist, durch den A/D-Wandler in ein Digitalsignal umgewandelt, um einen Bildverarbeitungsprozess durch eine Informationssammeleinrichtung in der Art eines Computers auszuführen. Die Informationen des in das Digitalsignal umgewandelten Lichts werden von der Informationssammeleinrichtung in der Art eines Computers gesammelt, die Intensität des Lichts, wie in [Fig. 28](#) dargestellt ist, wird in 12 Bits (4096 : 1) aufgelöst, und der Bildverarbeitungsprozess wird ausgeführt (Prozess 7). Die Y-Achse in [Fig. 23](#) bezeichnet die Intensität des Lichts, und eine Skala bezeichnet (20000/4095)-Y(Y:Skala) Elektronen.

Festlegung der Toleranz der Ungleichmäßigkeit

[0159] Als Ergebnis des Bildverarbeitungsprozesses

ses 7 wird die in dem Glassubstrat existierende Ungleichmäßigkeit als ein Kratzer an der Substratoberfläche festgestellt. Wenn dies mit $(20000/4095) \times 200$ Elektronen verglichen wird, was zuvor als ein festgelegter Toleranzwert für den Kratzer festgelegt wurde (wenn der Hintergrund $(20000/4095) \times 100$ Elektronen oder weniger beträgt), wird festgestellt, dass das Glassubstrat schlecht ist, weil es den festgelegten Toleranzwert überschreitet (Prozess 8).

[0160] Weil in dem Beispiel der den Toleranzbereich überschreitende Kratzer im Inspektionsbereich A1 auf der Substratoberfläche gefunden wird, wird die Inspektion auf die Ungleichmäßigkeit im nächsten Inspektionsbereich A2 nicht ausgeführt, sondern der Prozess geht zum Neupolier- und Reinigungsprozess für das Substrat über. Wenn im Inspektionsbereich A1 keine Ungleichmäßigkeit gefunden wird, werden die Prozesse 6 bis 8 (entsprechend den Umständen die Prozesse 2 bis 8) in den zuvor unterteilten Inspektionsbereichen A2, A3, B1, B2, ... wiederholt ausgeführt. Wenn festgestellt wird, dass die Ungleichmäßigkeit im ganzen Inspektionsbereich dem festgelegten Toleranzwert gleich oder kleiner ist als dieser, wird das Glassubstrat für die Photomaske als gut ausgewählt.

[0161] Durch die Verwendung des vorstehend beschriebenen Auswahlverfahrens kann das den Defekt aufweisende Glassubstrat schnell und richtig ausgesondert werden, so dass die Produktivität verbessert werden kann. Durch erneutes genaues Spiegelpolieren und Reinigen des den Defekt aufweisenden Glassubstrats kann es zu einem Glassubstrat für Photomasken gemacht werden, das im Spezifikationsbereich liegt.

[0162] [Fig. 24](#) zeigt ein zweites Beispiel, bei dem das Verfahren zum Auswählen des transparenten Substrats unter Verwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens auf ein Glassubstrat für eine Magnetplatte angewendet wird. Die Erklärung für die Prozesse, die sich mit derjenigen beim ersten Beispiel, wobei das Verfahren auf das Glassubstrat für die Photomaske angewendet wird, überlappt, wird fortgelassen.

[0163] Als ein transparentes Substrat **1**, das als ein Inspektionsziel dient, wird ein scheibenförmiges Glassubstrat für eine Magnetplatte aus einem Quarzglas vorbereitet, wobei beide Hauptflächen (H), die Innenrandfläche (T1-Ebene) und die Außenrandfläche (T2-Ebene) sowie die abgeschrägten Flächen (C-Ebenen) spiegelpoliert werden und wobei der Durchmesser 95 mm (3,5 Zoll), die Dicke 0,8 mm und der Durchmesser eines Rundlochs im Mittelabschnitt 20 mm beträgt.

[0164] Zur Bildung der Inspektionsbereiche ist der Bereich auf der Hauptfläche des transparenten Sub-

strats, wie in [Fig. 24](#) dargestellt ist, von der Innenrandseite zur Außenrandseite in die Messbereiche A1, A2, A3, ... unterteilt. Die Inspektion in Bezug auf die Ungleichmäßigkeit wird für jeden unterteilten Messbereich ausgeführt.

[0165] Die Inspektion auf die Ungleichmäßigkeit wird so ausgeführt, dass der Laserstrahl L von der Außenrandfläche des scheibenförmigen Glassubstrats **1** in Richtung der Mitte (O) der Scheibe eingeleitet wird, das Licht in einer Ebene in radialer Richtung (r-Richtung) einschließlich der Außenrandfläche und der Innenrandfläche eingesperrt wird (so dass die Totalreflexion an beiden Hauptflächen des transparenten Substrats wiederholt wird und das Licht zwischen der Innenrandfläche und der Außenrandfläche zurückgeworfen wird), die Scheibe durch eine Antriebsvorrichtung (nicht dargestellt) gedreht wird und der Laserstrahl L in Richtung des Rands (θ -Richtung) der Scheibe bewegt wird. Insbesondere sei mit Bezug auf [Fig. 25](#) erklärt, dass der Laserstrahl L in die abgeschrägte Fläche (C-Ebene) als eine Einleitfläche durch einen Laser **25** und Spiegel **26** und **27** eingeleitet wird, so dass sich der Laserstrahl L, der bestimmte Koordinaten (A1r1, A1 θ 1) des wie in [Fig. 25](#) dargestellt unterteilten Messbereichs A1 passiert und parallel zur r-Richtung verläuft, ausbreitet und der Einfallswinkel in einem Bereich ($45,0^\circ$ bis $44,0^\circ$) geändert wird, in dem der Strahl die Totalreflexion wiederholt und sich in dem scheibenförmigen Glassubstrat **1** ausbreitet, wodurch die Ungleichmäßigkeit inspeziert wird. Das scheibenförmige Glassubstrat **1** wird gedreht, dieselbe Abtastung wird durch Bewegen des Laserstrahls in θ -Richtung ausgeführt, und wenn die Inspektion auf die Ungleichmäßigkeit in dem Bereich, der die Koordinaten (A1r1, A1 θ X) des Messbereichs A1 durchläuft, beendet ist, wird die Inspektion der Ungleichmäßigkeit im Messbereich A1 abgeschlossen. Bei der Inspektion auf die Ungleichmäßigkeit ist es auch ausreichend, wenn der Laserstrahl von der Innenrandfläche der Scheibe oder sowohl von der Innenrandfläche als auch von der Außenrandfläche einfällt.

[0166] Ähnlich dem ersten Beispiel werden der Bildverarbeitungsprozess und die Toleranzfeststellung für die Ungleichmäßigkeit ausgeführt. Weil der den Toleranzbereich überschreitende Defekt im Inspektionsbereich A1 nicht gefunden wird, wird der Inspektionsbereich folglich zu den Inspektionsbereichen A2, A3, B1, B2, ... geändert, und die Inspektion auf die Ungleichmäßigkeit wird ähnlich derjenigen im Inspektionsbereich A1 ausgeführt. Wenngleich die Inspektion auf die Ungleichmäßigkeit im gesamten Bereich des scheibenförmigen Glassubstrats ausgeführt wird, wird kein den Toleranzbereich überschreitender Defekt gefunden, so dass es als gut festgestellt wird.

[0167] Wenn in dem bestimmten Inspektionsbe-

reich ein den Toleranzbereich überschreitender Defekt gefunden wird, wird es ähnlich dem ersten Beispiel als schlecht festgestellt, und der Prozess kann auch zu den Neupolier- und Reinigungsprozessen für das Substrat verschoben werden, ohne dass die Inspektion auf die Ungleichmäßigkeit im folgenden Inspektionsbereich ausgeführt wird.

[0168] Beim vorstehend erwähnten Inspektions- und Auswahlverfahren existiert Rayleigh-Streulicht, das durch mikroskopische Schwankungen der Dichte, die für das transparente Material charakteristisch sind, hervorgerufen wird, als unnötiges Licht, das aus der Ungleichmäßigkeit (dem Defekt) des transparenten Materials herausleckt und den Lichtkontrast verringert. Zum Verringern des unnötigen Lichts werden wenigstens zwei Lichtkomponenten mit unterschiedlichen Wellenlängen in das transparente Material eingeleitet, oder es wird Licht mit einer spezifischen Polarisation eingeleitet, so dass der Kontrast des Erfassungslichts für die Ungleichmäßigkeit verbessert wird und die Erfassung mit einer höheren Empfindlichkeit und einer höheren Genauigkeit verwirklicht werden kann. Im erstgenannten Fall des Einleitens von mindestens zwei Lichtkomponenten mit unterschiedlichen Wellenlängen kann das Streulicht durch Anwenden eines Filters (Farbfilters) zum Absorbieren oder Reflektieren eines Wellenlängenbereichs des gemischten Lichts zwischen dem transparenten Material und der Erfassungseinrichtung beseitigt werden, weil das Rayleigh-Streulicht zu Licht mit einer durch Mischen der Lichtkomponenten mit verschiedenen Wellenlängen erhaltenen Farbe wird. Im letztgenannten Fall des Einleitens des Lichts mit der spezifischen Polarisation wird das Licht durch Rayleigh-Streuung zu Licht mit charakteristischen Polarisationsseigenschaften in einem charakteristischen Polarisationszustand. Zur Verwendung der Differenz zwischen den Polarisationsseigenschaften und jenen des durch die Ungleichmäßigkeit leckenden Lichts wird eine Polarisationsvorrichtung in der Art eines Polarisationschirms, einer Polarisationsplatte oder eines Polarisationsprismas zwischen dem transparenten Material und der Erfassungseinrichtung angeordnet, so dass das Rayleigh-Streulicht wirksam beseitigt werden kann.

[0169] Unnötiges Licht, das den Kontrast des aus der Ungleichmäßigkeit (dem Defekt) des transparenten Materials herausleckenden Lichts verringert, ist Streulicht, das so abgeleitet wird, dass Licht, das nicht in das transparente Material eingeleitet wurde, an der Oberfläche des transparenten Materials reflektiert wird und auf das Erfassungssystem für das Erfassen von Licht von der Ungleichmäßigkeit fällt. Zum Verringern des Streulichts wird das eingeleitete Licht entsprechend der Größe der Einleitfläche des transparenten Materials, auf die der Laserstrahl fällt, verringert, indem der Strahl durch ein optisches System in der Art einer Linse konvergiert wird und die

Einleitfläche zu einem konkaven Querschnitt geformt wird, so dass der konvergierte Laserstrahl von der Einleitfläche als fast paralleles Licht in das transparente Material eingeleitet wird. Folglich kann das Streulicht verringert werden, der Kontrast des Erfassungslichts für die Ungleichmäßigkeit erhöht werden und die Detektion mit hoher Empfindlichkeit und hoher Genauigkeit ausgeführt werden.

[0170] Ein weiterer Faktor für das Verringern des Kontrasts des aus der Ungleichmäßigkeit (dem Defekt) des transparenten Materials herausleckenden Lichts ist, wie in [Fig. 26](#) dargestellt ist (in dem Diagramm ist (1) eine perspektivische Ansicht und (2) eine Schnittansicht), durch einen Fall gegeben, in dem das Lichtabschirmungsmaterial eine rechteckige Platte mit Hauptflächen, Endflächen und abgeschrägten Flächen ist und die Ungleichmäßigkeit durch Einleiten des Laserstrahls L von der Einleitfläche (der abgeschrägten Fläche (C-Ebene)) inspiziert wird und das Licht aus den abgeschrägten Flächen, die von der Einleitfläche verschieden sind, herausleckt und zu Streulicht wird. In diesem Fall werden Abschnitte zwischen den abgeschrägten Flächen, die von den abgeschrägten Flächen verschieden sind, die einander in Ausbreitungsrichtung des Lichts gegenüberstehen, zum Einleiten des Lichts durch ein Einleitlicht 50, das durch Verbinden mehrerer in Flächenrichtung der abgeschrägten Flächen angeordneter optischer Fasern gebildet wird, miteinander verbunden, wodurch ermöglicht wird, dass das aus den abgeschrägten Flächen herausleckende Licht wieder in das transparente Material eingeleitet wird. Daher wird das Streulicht verringert, und der eingeleitete Laserstrahl kann wirksamer auf dem ungleichmäßigen Abschnitt konzentriert werden, so dass der Kontrast erhöht wird und die Erfassung mit einer hohen Empfindlichkeit und einer hohen Geschwindigkeit verwirklicht werden kann.

[0171] Gemäß der Ausführungsform beim Inspektionsverfahren und beim ersten und zweiten Beispiel des Auswahlverfahrens wurde das aus Glas bestehende transparente Substrat als ein transparentes Material mit spiegelpolierten Oberflächen erwähnt. Es ist nicht auf Glas beschränkt, sondern es kann jedes beliebige Material, beispielsweise optischer Kunststoff, wie Acrylharz, oder ein optischer Kristall, wie Quarz, wodurch das Inspektionslicht übertragen werden kann, verwendet werden.

[0172] Gemäß der Ausführungsform beim Inspektionsverfahren und beim ersten und zweiten Beispiel des Auswahlverfahrens wurde das Beispiel erwähnt, in dem die gesamte Oberfläche des transparenten Substrats spiegelpoliert war. Dies ist nicht auf das vorstehend Erwähnte beschränkt, sondern es kann auch ein transparentes Substrat, wobei ein Teil der Oberfläche oder die gesamte Oberfläche nicht spiegelpoliert ist, verwendet werden. Beispielsweise tritt

im Fall des Glassubstrats für die Photomaske ein Fall auf, in dem die von den Hauptflächen verschiedenen Endflächen, worin das Muster nicht gebildet ist, nicht spiegelpoliert sind. Im Fall des Glassubstrats für die Magnetplatte tritt ein Fall auf, in dem die Innenrandflächen und die Außenrandflächen, in denen ein Film in der Art einer magnetischen Schicht nicht gebildet ist, nicht spiegelpoliert sind. In diesem Fall sehen die Flächen so aus, als ob sie spiegelpoliert wären (freie Oberfläche einer Flüssigkeit, Pseudo-Spiegeloberfläche), wenn eine Flüssigkeit in der Art eines Anpassungsöls auf die Flächen aufgebracht wird, die nicht spiegelpoliert sind, so dass der ungleichmäßige Abschnitt durch das Inspektionsverfahren gemäß der Erfindung inspiziert werden kann. Wenn es insbesondere an einer Stelle, an der das Spiegelpolieren nicht ausgeführt wurde, erwünscht ist, dass der ungleichmäßige Abschnitt allein (Schlieren, Blasen, Fremdstoffe oder dergleichen), der in dem transparenten Material vorhanden ist, inspiziert wird, ist dies wirksam.

[0173] Als eine Flüssigkeit, die aufgebracht wird, um die Pseudo-Spiegeloberfläche zu bilden, kann ein Anpassungsöl oder ein Dichtungsmittel, das für optische Teile verwendet wird, oder ein Maskierungsmittel für Glaskratzer erwähnt werden. Die auf die Oberfläche des transparenten Substrats aufgebrachte Flüssigkeit kann nach Abschluss des Beschichtens unverändert in einem flüssigen Zustand oder in einem festen Zustand eines Gels, eines harten Films oder dergleichen vorliegen. Als ein Verfahren zum Aufbringen der Flüssigkeit kann ein beliebiges Verfahren, wie Aufbürsten (eine Bürste oder ein schwammartiges Material wird mit einer Flüssigkeit getränkt, wodurch beschichtet wird), Sprühbeschichten oder Schleuderbeschichten, wodurch die Oberfläche des transparenten Materials glatt beschichtet werden kann, verwendet werden. In diesem Fall wird das geeignete Verfahren entsprechend der verwendeten Flüssigkeit oder der Beschichtungsoberfläche ausgewählt.

[0174] Wenn der Brechungsindex des transparenten Materials demjenigen der Flüssigkeit im Wesentlichen gleicht, wird die flüssigkeitsbeschichtete Oberfläche in einem Spiegelzustand optisch und substanzial zur Oberfläche des transparenten Materials, so dass das in das transparente Material eingeleitete Licht sicher totalreflektiert und in das Innere zurückgeworfen werden kann. Weil insbesondere Quarzglas (Brechungsindex 1,46) oder dergleichen häufig für ein transparentes Substrat verwendet wird, kann als eine Flüssigkeit, deren Brechungsindex dem vorstehenden ähnelt und die leicht gehandhabt werden kann, Kanadabalsam (Brechungsindex 1,52), Enterannew (Handelsname, Brechungsindex 1,49), Diiodmethan (Ethyleniodid, Brechungsindex 1,74), Zedernöl (Brechungsindex 1,52), flüssiges Paraffin (Brechungsindex 1,48), Aquatex (Handelsname, Bre-

chungsindex 1,4), Glycerol (Brechungsindex 1,46) und dergleichen erwähnt werden.

[0175] In Bezug auf ein wasserunlösliches Material, wie Kanadabalsam oder Enterannew, sei bemerkt, dass der Brechungsindex und die Viskosität durch Hinzufügen einer organischen Lösung, wie Xylen, eingestellt werden können. In Bezug auf ein wasserlösliches Material, wie Glycerol oder Aquatex, sei bemerkt, dass der Brechungsindex und die Viskosität durch Hinzufügen von Wasser eingestellt werden können. Als ein Maskierungsmittel für Kratzer des Glases steht eine Emulsionszusammensetzung zur Verfügung, bei der Polyorganosiloxan und Polydiorganosiloxan oder dergleichen Hauptkomponenten sind, wie in der offen gelegten japanischen Patentveröffentlichung 6-4496 (1994) offenbart ist.

[0176] Bei einer Inspektion in dem Fall, in dem die gesamte Oberfläche des transparenten Substrats nicht spiegelpoliert ist, tritt beispielsweise ein Fall auf, in dem die Ungleichmäßigkeit allein (Schlieren, Blasen, Fremdstoffe oder dergleichen) in dem transparenten Substrat inspiziert wird. Wenn in diesem Fall der ungleichmäßige Abschnitt im Inneren existiert, führt er zu einem fatalen Defekt. Weil im Fall des Glassubstrats für eine Phasenverschiebungsmaske das schlechte Substrat durch Inspizieren an einer Stufe vor dem Spiegelpolieren ausgeschlossen werden kann, können die Herstellungskosten niedrig gehalten werden.

[0177] Die Form des transparenten Materials ist nicht auf ein quadratisches (rechtwinkliges) oder kreisförmiges Substrat beschränkt, sondern das transparente Material kann eine beliebige Form eines Blocks, einer Kugel, einer Säule, eines Zylinders, eines Polyeders und eine Form mit gekrümmten Flächen annehmen. Wenn insbesondere bei dem vorstehend erwähnten transparenten Material ein Substrat mit einander gegenüberliegenden Flächen, insbesondere ein Substrat mit mindestens zwei Paaren paralleler Ebenen, die einander gegenüberstehen (beispielsweise ein quadratischer (rechtwinkliger) oder runder Kegel) verwendet wird, wiederholt das eingeleitete Licht die Totalreflexion und tritt leicht in einen Zustand ein, in dem das Licht in dem Substrat eingeschlossen ist. Tatsächlich kann die Inspektion für den weiten Bereich des transparenten Materials gleichzeitig ausgeführt werden, und die Inspektion kann schnell erfolgen. Die Inspektion kann weiterhin auf verschiedene Arten von Substraten, wie Glassubstrate für elektronische Vorrichtungen (für die Photomaske (Phasenverschiebungsmaske)), Glassubstrate für Flüssigkristallanzeigen oder Glassubstrate für die Informationsaufzeichnung (in der Art einer Magnetplatte oder optischen Platte) angewendet werden. Weil das Glassubstrat für die Informationsaufzeichnung scheibenförmig ist, wird bei der eigentlichen Inspektion der Laserstrahl von der polierten Außen-

randfläche oder der polierten Innenrandfläche (beispielsweise dem abgeschrägten Abschnitt) einfallen gelassen. Wenn die Inspektion für beide Flächen des Substrats erforderlich ist, ist es auch ausreichend, wenn die Erfassungseinrichtung auf der oberen bzw. der unteren Seite des Substrats bereitgestellt wird und beide Substratflächen auf einmal inspiziert werden.

[0178] Bei der vorstehenden Vorrichtung wurde ein Gaslaser (He-Ne-Laser) als Laser verwendet. Er ist nicht darauf beschränkt, sondern es kann auch ein Laser im sichtbaren Bereich, wie ein Halbleiterlaser oder dergleichen, solange er etwas von dem transparenten Substrat absorbiert wird, ein Excimerlaser im Ultraviolettbereich, ein Nd-YAG-Laser im Infrarotbereich, ein CO₂-Laser oder dergleichen als eine Lichtquelle für die Inspektion verwendet werden. Weil insbesondere in einem Fall, in dem der Laser im Ultraviolettbereich verwendet wird (beispielsweise eine höhere harmonische Welle des Excimerlasers, eines YAG-Lasers oder dergleichen), die Fremdstoffe oder dergleichen, die an der Substratoberfläche haften, durch Verdampfen oder Transpirieren beseitigt werden können, ist dieser bevorzugt.

[0179] Bei der vorstehenden Vorrichtung wurde das Beispiel erwähnt, in dem die Winkeleinrichtung zum Ändern des Einfallswinkels für das Substrat an den Spiegeln angebracht war, die sich zwischen dem Laser und dem Substrat befinden. Solange der Einfallswinkel des Laserstrahls für das Substrat geändert werden kann, kann jede beliebige Konstruktion verwendet werden. Es ist auch ausreichend, wenn die Winkeleinrichtung für den Laser selbst bereitgestellt wird oder wenn sie für den Halter zum Halten des Substrats bereitgestellt wird. In Bezug auf das Einleiten des Laserstrahls sei erwähnt, dass es auch ausreichend ist, wenn das Licht nicht unter Verwendung von Spiegeln, sondern einer optischen Faser eingeleitet wird. Dabei ist es ausreichend, dass ein Emissionskantenabschnitt der optischen Faser unter Verwendung einer Führung oder dergleichen entlang jeder Seite des Substrats bewegt wird oder eine Schwankung auf die Seite des Emissionskantenabschnitts der optischen Faser angewendet wird, wodurch der Einfallswinkel geändert wird.

[0180] Wie detailliert beschrieben wurde, werden gemäß der Erfindung das Ansprechen auf das Inspektionslicht in den ungleichmäßigen und gleichmäßigen Abschnitten des transparenten Materials kritisch und erscheint die Ungleichmäßigkeit als ein sehr klarer Kontrast, so dass die Ungleichmäßigkeit in der Art eines feinen Kratzers mit hoher Empfindlichkeit erfasst werden kann und sie auch mit hoher Genauigkeit und hoher Geschwindigkeit erfasst werden kann, weil der Laserstrahl unter Verwendung der Totalreflexion als kritisches physikalisches Phänomen im transparenten Material eingesperrt ist. Wei-

terhin kann nicht nur die Ungleichmäßigkeit an der Oberfläche des transparenten Materials, sondern auch der Defekt in der Art einer inneren Beschädigung oder von Schlieren erfasst werden.

[0181] Das Vorhandensein oder Nichtvorhandensein, die Art und die Größe der Ungleichmäßigkeit des transparenten Materials werden auf der Grundlage der Informationen über das aus der Oberfläche des transparenten Materials herausleckende Licht bestimmt, so dass ein gewünschtes transparentes Material sofort entnommen werden kann und die Produktivität für das transparente Material verbessert werden kann.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Untersuchen einer Ungleichmäßigkeit eines transparenten Materials, wobei ein Laserstrahl in das transparente Material (1) eingeleitet wird, das transparente Material mindestens ein Paar totalreflektierender Flächen (H), die einander gegenüberstehen und an denen der in das transparente Material eingeleitete Laserstrahl eine Totalreflexion wiederholt, wodurch er sich in dem transparenten Material in Ausbreitungsrichtung ausbreitet, und mindestens ein Paar von Wendeflächen (T), die so angeordnet sind, dass sie einander in Ausbreitungsrichtung gegenüberstehen, aufweist, wobei Licht, das aus den totalreflektierenden Flächen (H) und/oder den Wendeflächen (T) entweicht, wenn ein ungleichmäßiger Abschnitt in dem optischen Weg des Laserstrahls in dem transparenten Material existiert, erfasst wird,

dadurch gekennzeichnet, dass

der Laserstrahl unter einem solchen Winkel in das transparente Material eingeleitet wird, dass er sich, wenn der optische Weg des Laserstrahls in dem transparenten Material optisch gleichmäßig ist, in dem transparenten Material ausbreitet und auf die totalreflektierenden Flächen (H) und die Wendeflächen (T) fällt, so dass er sowohl an den reflektierenden Flächen als auch an den Wendeflächen totalreflektiert wird, und zwischen dem mindestens einen Paar von Wendeflächen wiederholt wird, wodurch er im Untersuchungsbereich verbreitert wird, der durch die Ausbreitung gebildet ist und von den totalreflektierenden Flächen und den Wendeflächen umgeben ist.

2. Verfahren zum Untersuchen der Ungleichmäßigkeit des transparenten Materials (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass wenn angenommen wird, dass der Brechungsindex des transparenten Materials (1) für eine Wellenlänge λ des eingeleiteten Laserstrahls auf n_t gelegt ist, der Brechungsindex des externen Mediums, das in Kontakt mit dem transparenten Material (1) gelangt, auf n_e gelegt ist, und der Winkel des auf die totalreflektierenden Flächen und die Wendeflächen einfallenden

Lichts auf θ_{ik} gelegt ist, wobei k die Position bezeichnet, an der der Laserstrahl auf die totalreflektierenden Flächen und die Wendeflächen fällt, nachdem der Laserstrahl in das transparente Material (1) eingeleitet wurde, und die Einfallspalten nacheinander als $k = 1, 2, \dots$ festgelegt sind, der Laserstrahl so eingeleitet wird, dass θ_{ik} an den totalreflektierenden Flächen und den Wendeflächen größer oder gleich einem durch $\sin \theta = n_i/n_t$ ausgedrückten kritischen Winkel θ ist.

3. Verfahren zum Untersuchen der Ungleichmäßigkeit des transparenten Materials (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 2, dadurch gekennzeichnet, dass eine Einleitfläche zum Einleiten des Laserstrahls in einem Abschnitt bereitgestellt ist, der zwischen einer der totalreflektierenden Flächen und mindestens einer der Wendeflächen sandwichförmig angeordnet ist.

4. Verfahren zum Untersuchen der Ungleichmäßigkeit des transparenten Materials (1) nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest die Einleitfläche spiegelpoliert ist.

5. Verfahren zum Untersuchen der Ungleichmäßigkeit des transparenten Materials (1) nach einem der Ansprüche 3 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass wenn angenommen wird, dass die Größe der totalreflektierenden Fläche auf L gelegt ist, die Breite der Einleitfläche auf d gelegt ist, der Brechungsindex des transparenten Materials (1) für die Wellenlänge λ des Laserstrahls auf n_t gelegt ist, der Brechungsindex des externen Mediums, das in Kontakt mit dem transparenten Material (1) gelangt, auf n_i gelegt ist, der Strahldurchmesser des Laserstrahls auf ϕ gelegt ist, der Winkel des auf die totalreflektierenden Flächen und die Wendeflächen einfallenden Lichts auf θ_{ik} gelegt ist, wobei k die Position bezeichnet, an der der Laserstrahl auf die totalreflektierenden Flächen und die Wendeflächen fällt, nachdem er in das transparente Material (1) eingeleitet wurde, und die Einfallspalten nacheinander als $k = 1, 2, \dots$ festgelegt wird, insbesondere ein Winkel des Lichts, unter dem der Laserstrahl zuerst auf die totalreflektierenden Flächen oder die Wendeflächen trifft, nachdem er eingeleitet wurde, auf θ_1 gelegt ist, die Anzahl der Reflexionen an den totalreflektierenden Flächen auf m gelegt ist und m durch eine Funktion ausgedrückt ist, bei der $L, d, n_t(\lambda), n_i, \phi$ und θ_1 verwendet werden, die Bedingungen für mindestens eines von $L, d, n_t(\lambda), n_i, \phi$ und θ_1 so festgelegt werden, dass m größer oder gleich einem Referenzwert in einem Bereich ist, in dem alle θ_{ik} größer oder gleich dem kritischen Winkel θ sind, wobei der Laserstrahl entsprechend den festgelegten Bedingungen von der Einleitfläche eingeleitet wird.

6. Verfahren zum Untersuchen der Ungleichmäßigkeit

des transparenten Materials (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die totalreflektierenden Flächen und die Wendeflächen eine solche Beziehung aufweisen, dass sie einander unter rechten Winkeln kreuzen.

7. Verfahren zum Untersuchen der Ungleichmäßigkeit des transparenten Materials (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass in dem Untersuchungsbereich des transparenten Materials (1), der durch das eine Paar der totalreflektierenden Flächen und das eine Paar der Wendeflächen sandwichförmig eingeschlossen ist, die Ungleichmäßigkeit auf einer bestimmten Ebene in dem durch die Ausbreitung des Laserstrahls in dem transparenten Material (1) mit Licht gefüllten Untersuchungsbereich untersucht wird und anschließend die untersuchte Ebene entlang einer Seite des transparenten Materials relativ bewegt wird, wodurch die Ungleichmäßigkeit des Untersuchungsbereichs untersucht wird.

8. Verfahren zum Untersuchen der Ungleichmäßigkeit des transparenten Materials (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Oberfläche des transparenten Materials (1) aufweist: mindestens ein Paar von Hauptflächen, die zueinander parallel sind, die totalreflektierenden Flächen; mindestens ein Paar von Endflächen, die die Hauptflächen unter rechten Winkeln kreuzen, die Wendeflächen; und abgeschrägte Abschnitte, die durch die Hauptflächen und die Endflächen sandwichförmig eingeschlossen sind, die Einleitflächen.

9. Verfahren zum Untersuchen der Ungleichmäßigkeit des transparenten Materials (1) nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass der Laserstrahl so eingeleitet wird, dass der eingeleitete Laserstrahl nur in die abgeschrägten Abschnitte emittiert wird.

10. Verfahren zum Untersuchen der Ungleichmäßigkeit des transparenten Materials (1) nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass wenn angenommen wird, dass der Brechungsindex des transparenten Materials (1) für eine Wellenlänge λ des eingeleiteten Laserstrahls auf n_t gelegt ist, der Brechungsindex des externen Mediums, das in Kontakt mit dem transparenten Material (1) gelangt, auf n_i gelegt ist und der Winkel des auf die Hauptflächen fallenden Lichts, auf die der Laserstrahl zuerst einfällt, nachdem er in das transparente Material (1) eingeleitet ist, auf θ_1 gelegt ist, der Laserstrahl so eingeleitet wird, dass θ_1 in den Hauptflächen größer oder gleich einem durch $\sin \theta = n_i/n_t$ ausgedrückten kritischen Winkel θ ist und $(90^\circ - \theta_1)$ in den Endflächen größer oder gleich dem durch die vorstehende

Gleichung ausgedrückten kritischen Winkel θ ist.

11. Verfahren zum Untersuchen der Ungleichmäßigkeit des transparenten Materials (1) nach einem der Ansprüche 8 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest die abgeschrägten Abschnitte spiegelpoliert sind.

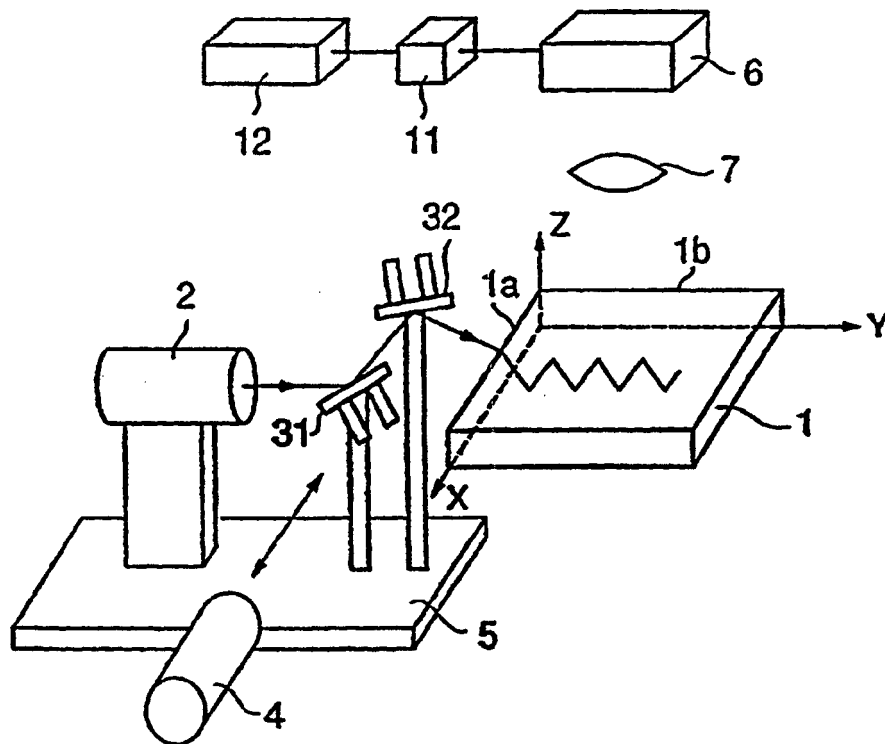
12. Verfahren zum Untersuchen der Ungleichmäßigkeit des transparenten Materials (1) nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass die gesamte Oberfläche des transparenten Materials (1) spiegelpoliert ist.

13. Verfahren zum Untersuchen der Ungleichmäßigkeit des transparenten Materials (1) nach einem der Ansprüche 8 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass in dem Untersuchungsbereich des transparenten Materials (1), der sandwichförmig durch das eine Paar der Hauptflächen und das eine Paar der Endflächen eingeschlossen ist, die Ungleichmäßigkeit auf einer bestimmten Ebene in dem durch die Ausbreitung des Laserstrahls in dem transparenten Material (1) mit Licht gefüllten Untersuchungsbereich untersucht wird und anschließend die untersuchte Ebene entlang einer Seite des transparenten Materials (1) relativ bewegt wird, wodurch die Ungleichmäßigkeit des Untersuchungsbereichs untersucht wird.

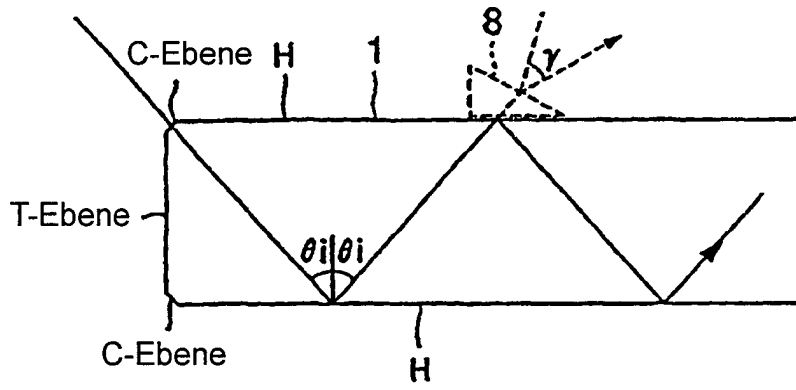
14. Verfahren zum Untersuchen der Ungleichmäßigkeit des transparenten Materials (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass das transparente Material (1) Glas ist.

15. Verfahren zum Untersuchen der Ungleichmäßigkeit des transparenten Materials (1) nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass das transparente Material (1) ein Glassubstrat für eine elektronische Vorrichtung oder ein Glassubstrat für ein Informationsaufzeichnungsmedium ist.

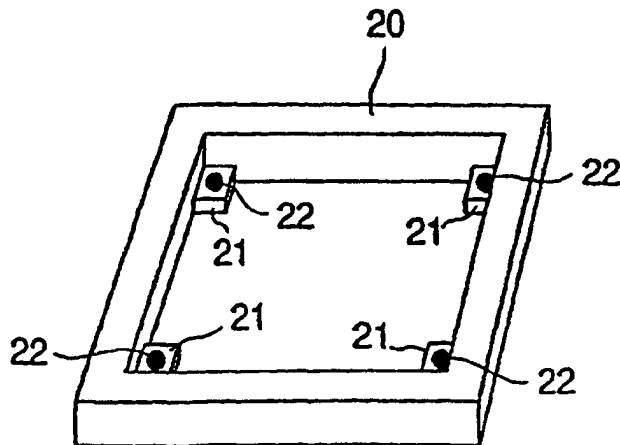
Es folgen 21 Blatt Zeichnungen



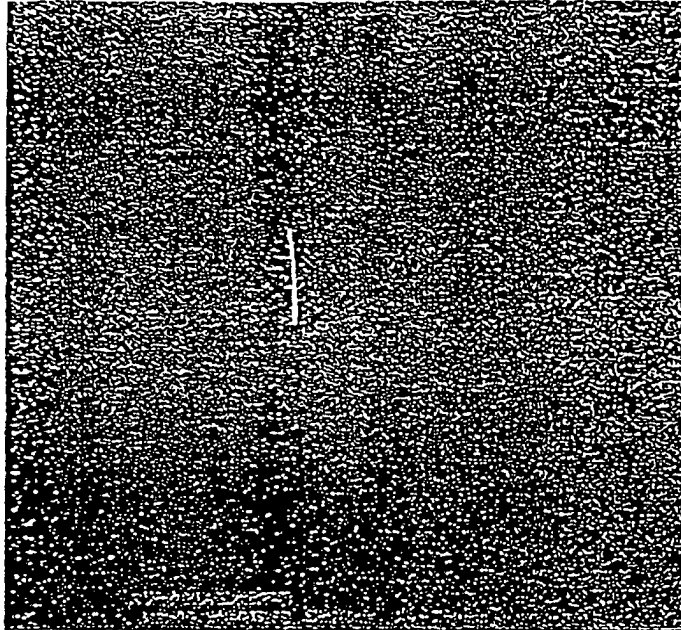
Figur 1



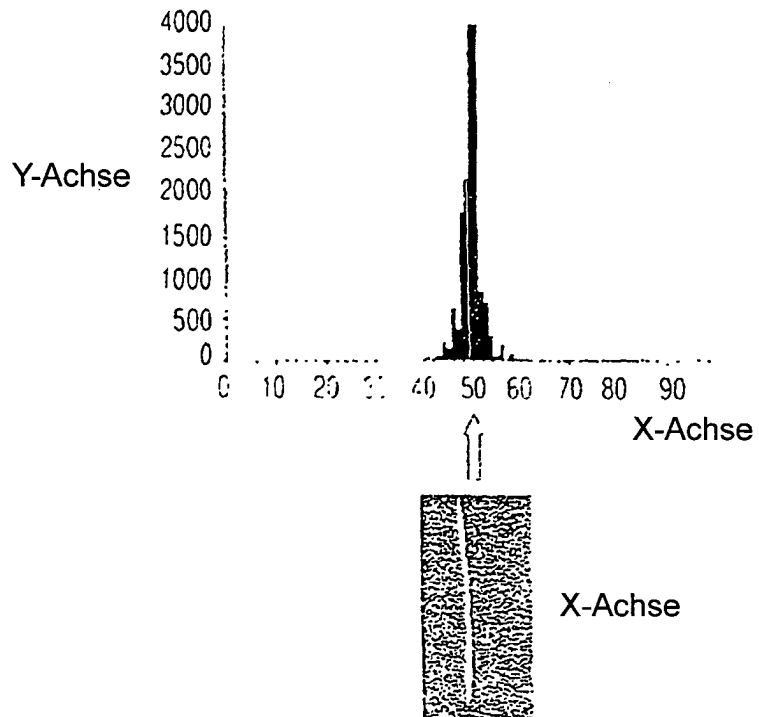
Figur 2



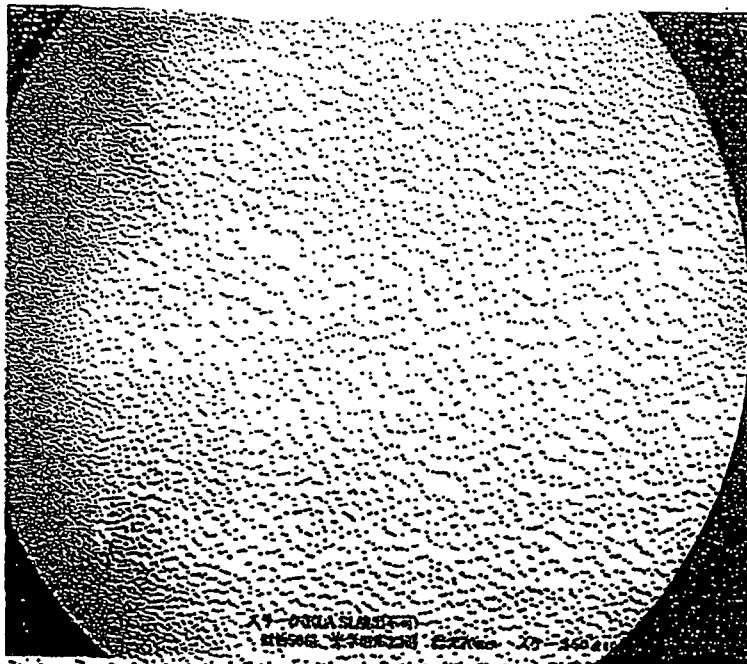
Figur 3



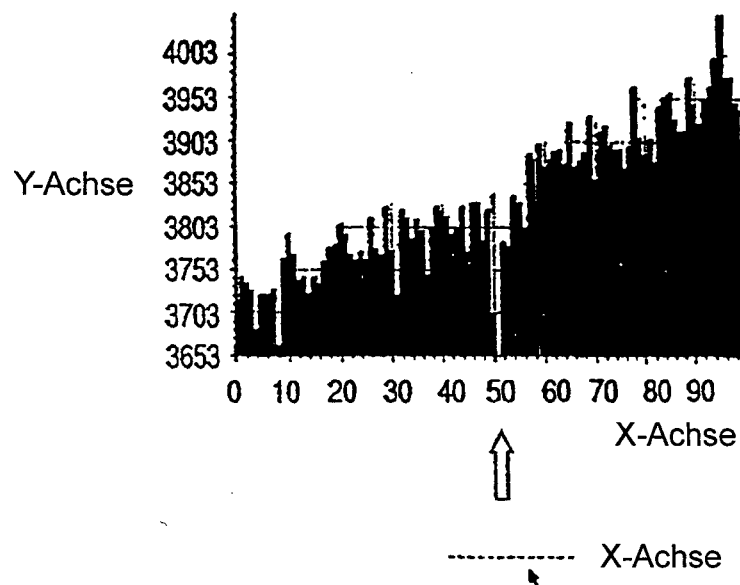
Figur 4



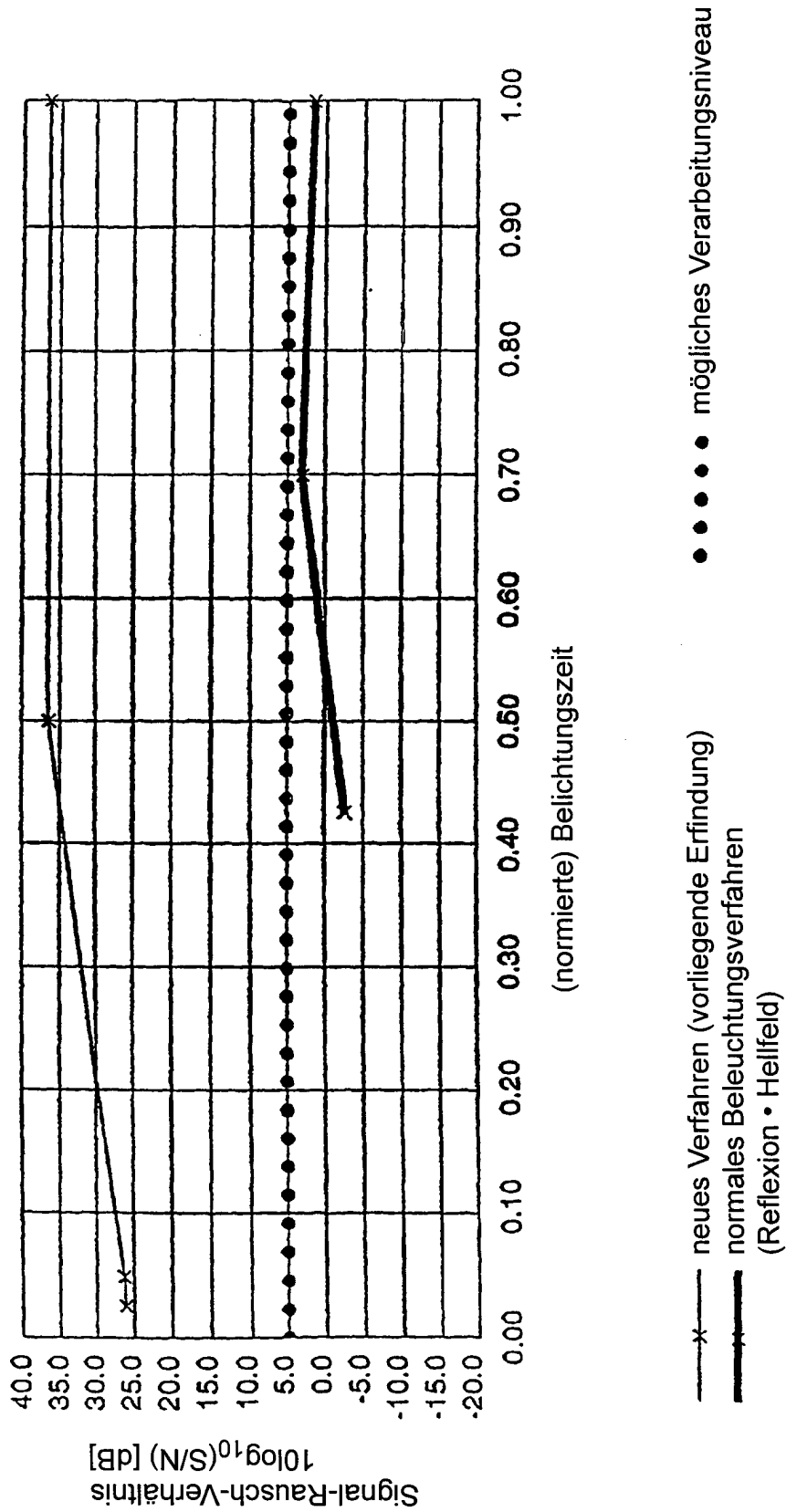
Figur 5



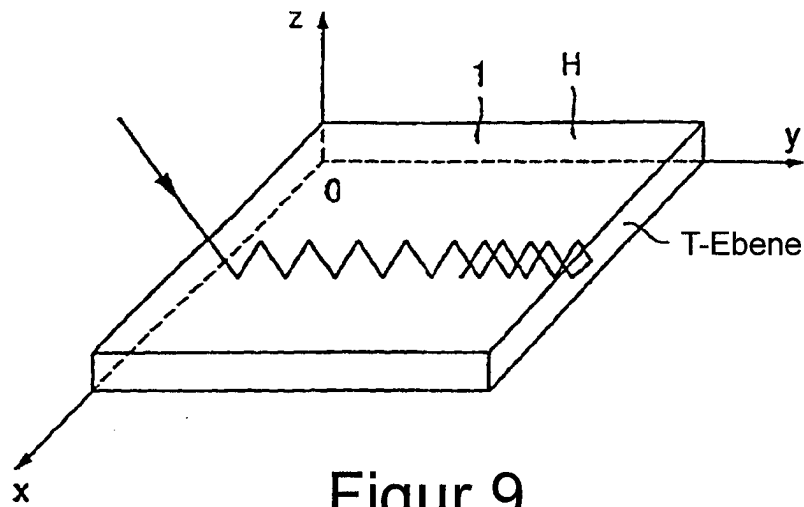
Figur 6



Figur 7



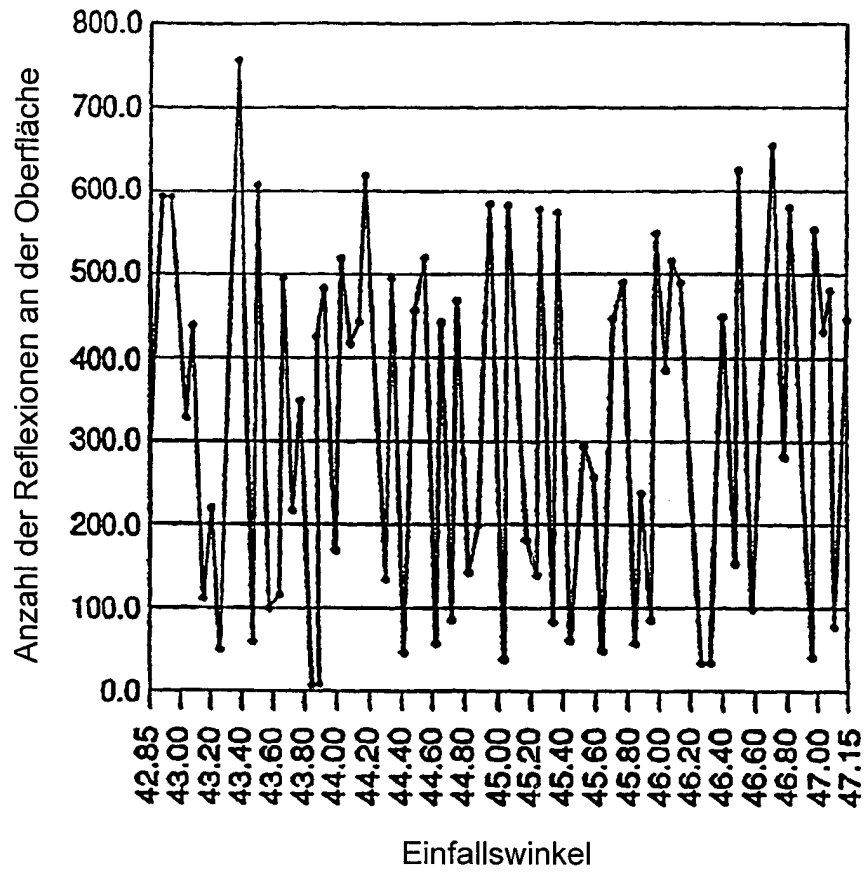
Figur 8



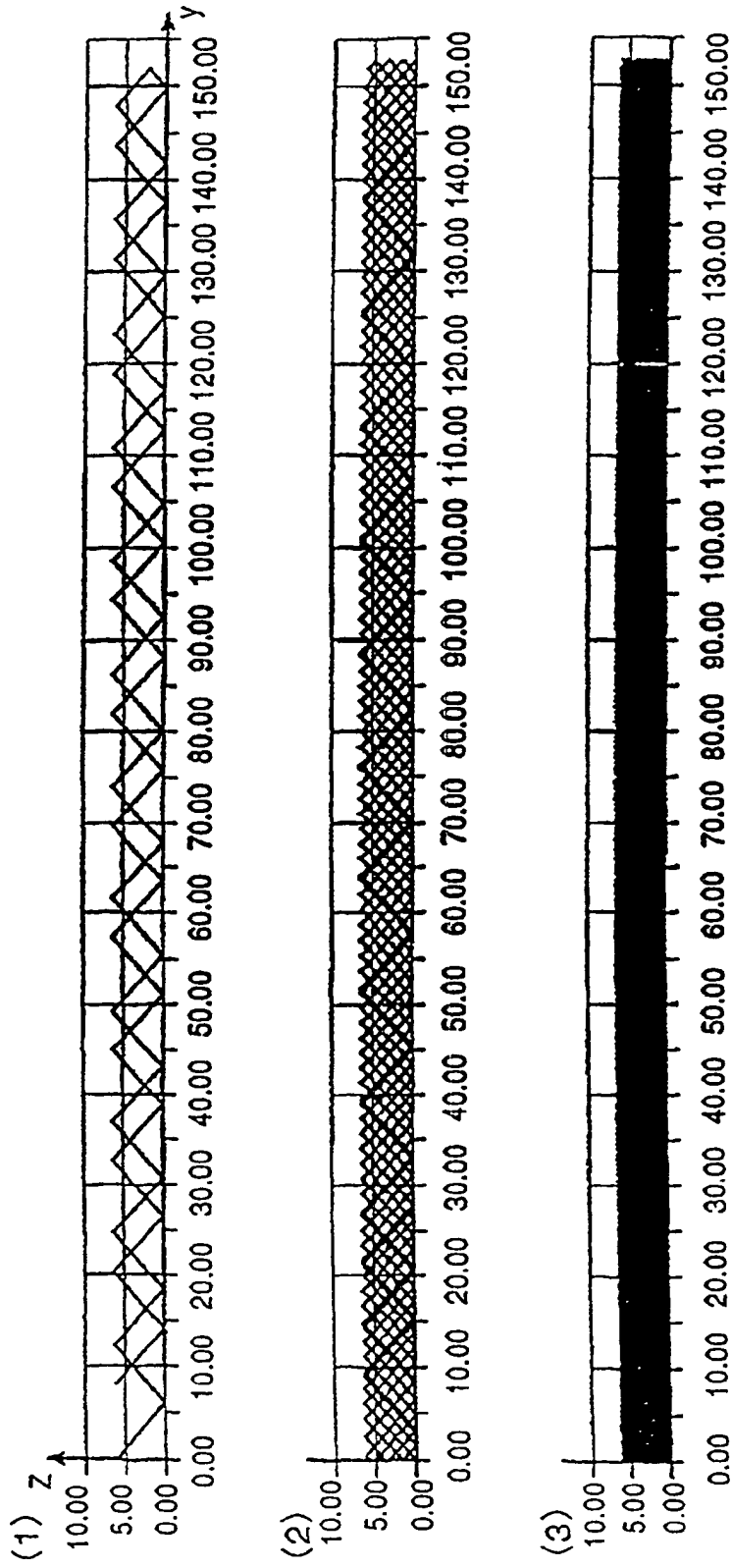
Figur 9

Einfallswinkel	Anzahl der Reflexionen an der T-Ebene	Anzahl der Reflexionen an der Oberfläche	z-Koordinate nach der Emission
42.90	23	594	6.21
42.95	23	593	0.10
43.00	19	489	0.00
43.05	13	334	6.31
43.10	17	436	6.34
43.15	5	128	6.28
43.20	9	230	6.24
43.25	2	51	0.16
43.30	15	382	6.21
43.35	26	661	0.10
43.40	29	736	6.35
43.45	3	76	6.32
43.50	24	607	0.14
43.55	4	101	0.09
43.60	5	126	6.27
43.65	19	478	6.28

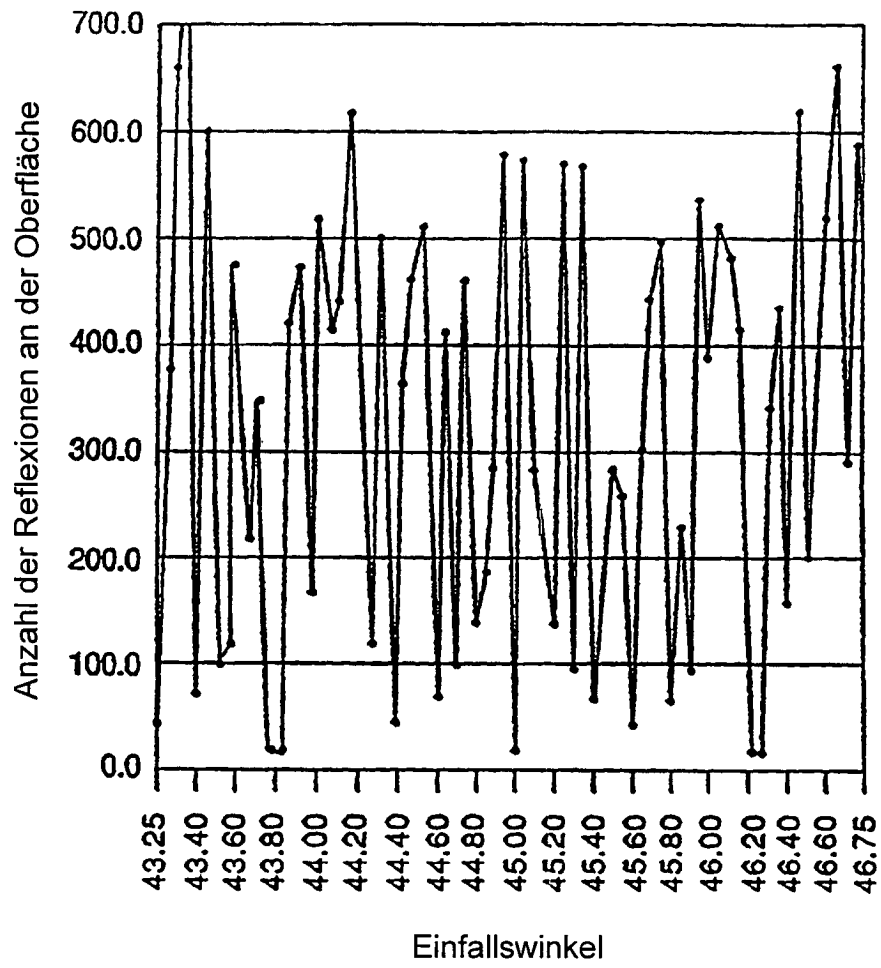
Figur 10



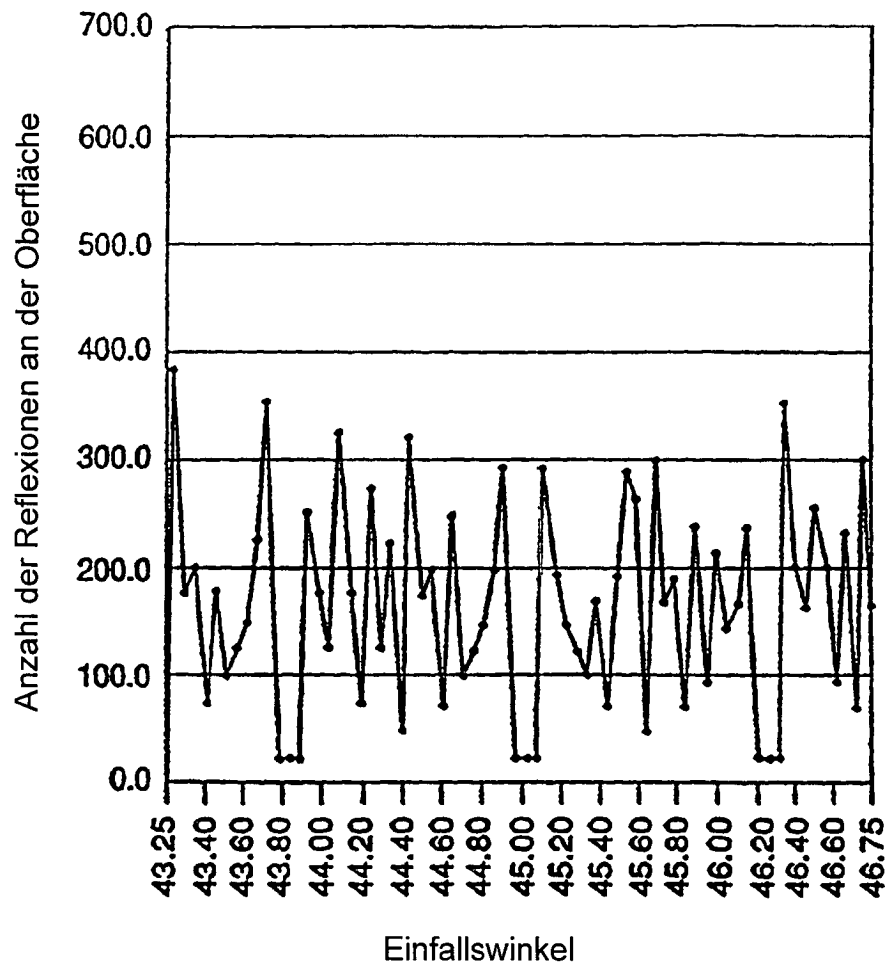
Figur 11



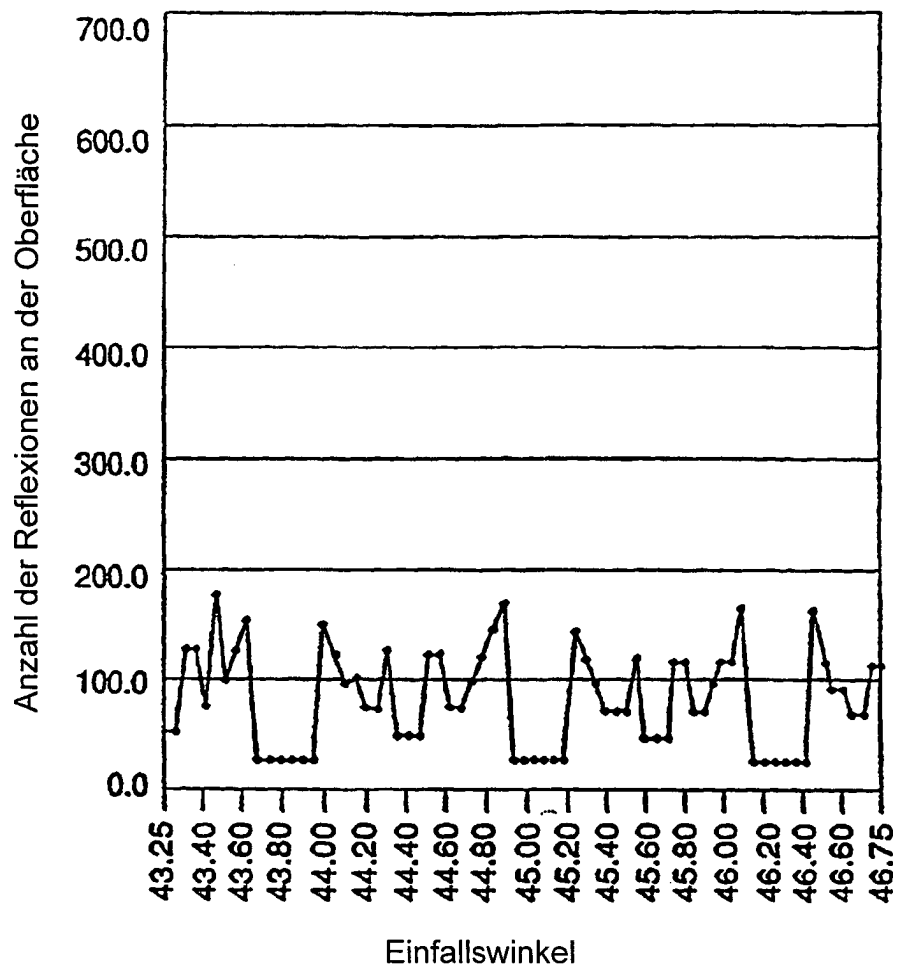
Figur 12



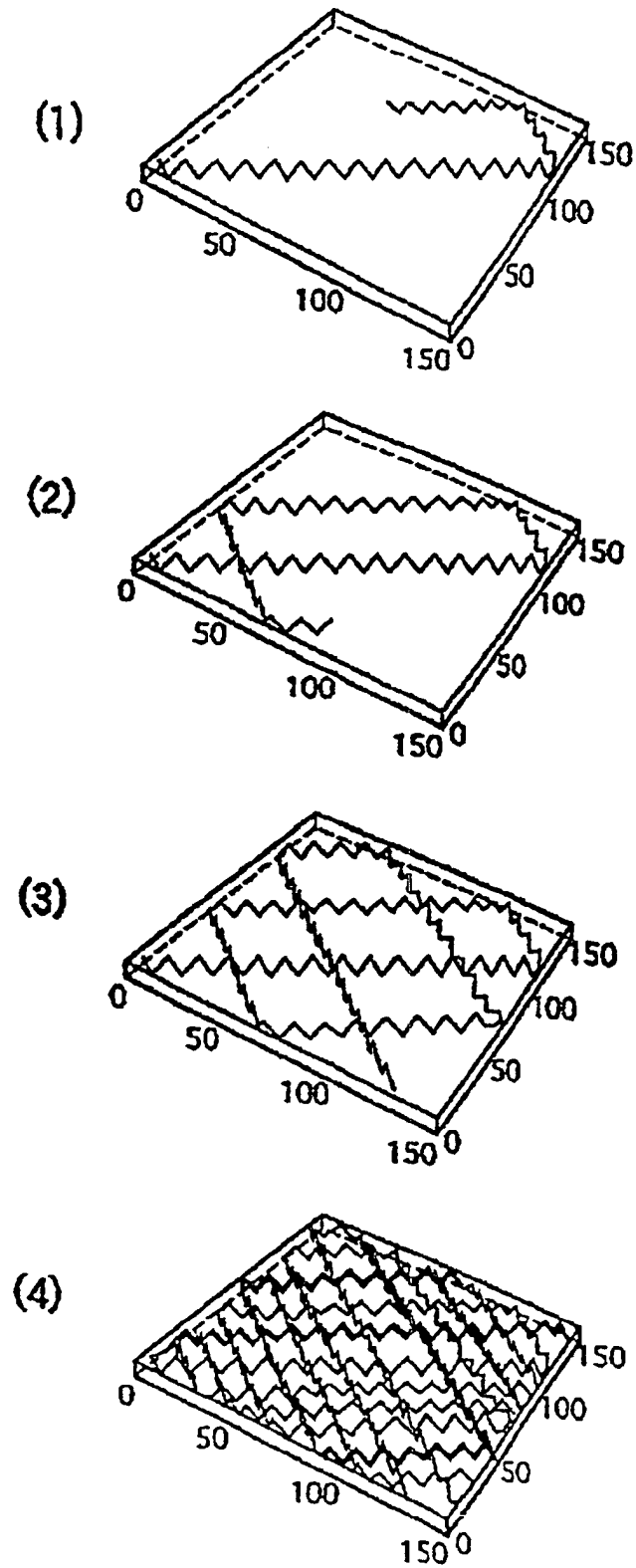
Figur 13



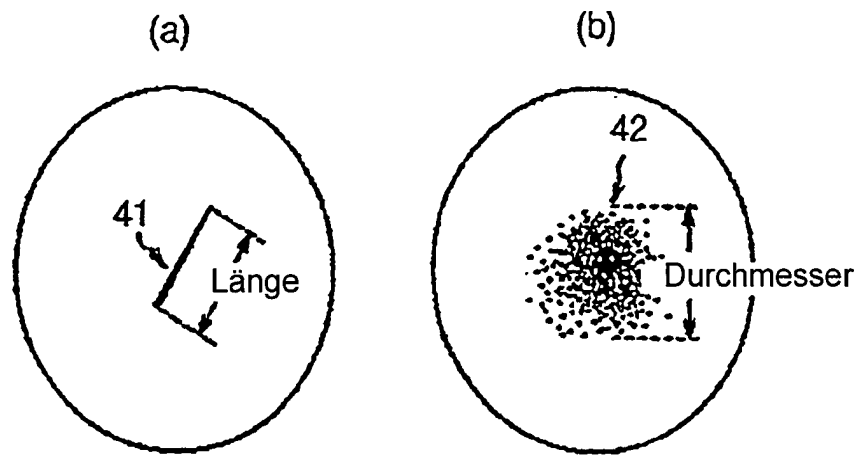
Figur 14



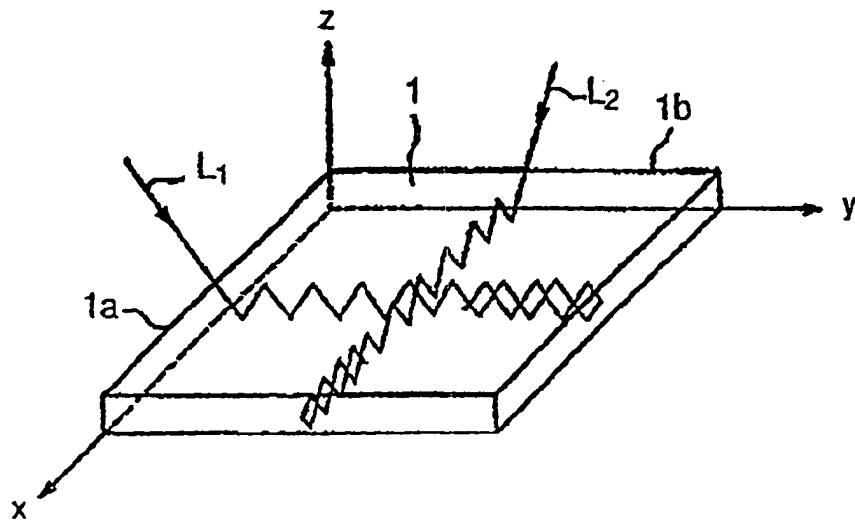
Figur 15



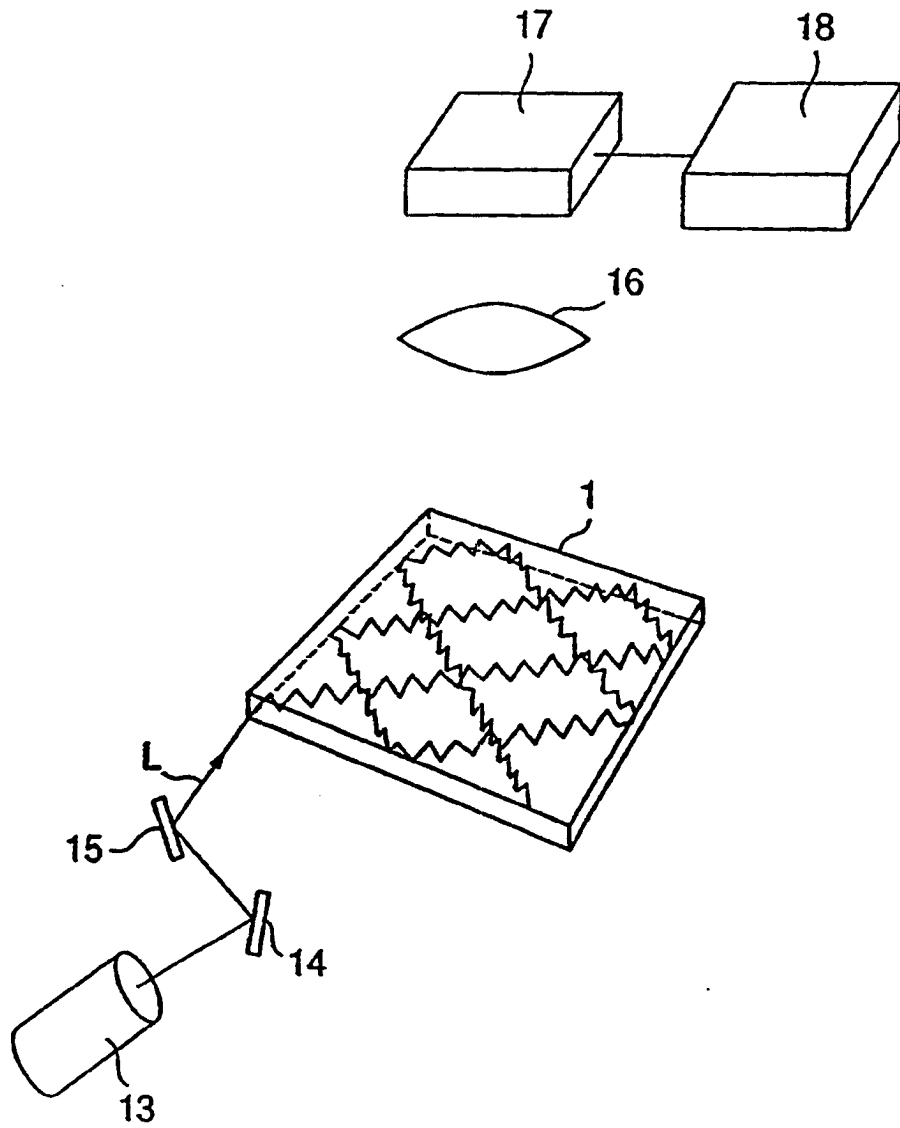
Figur 16



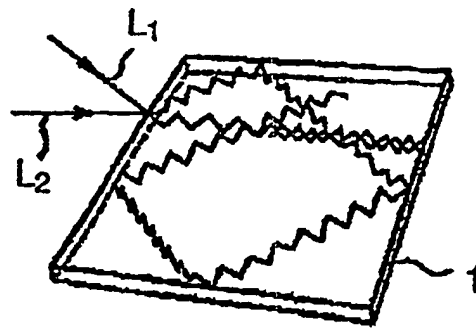
Figur 17



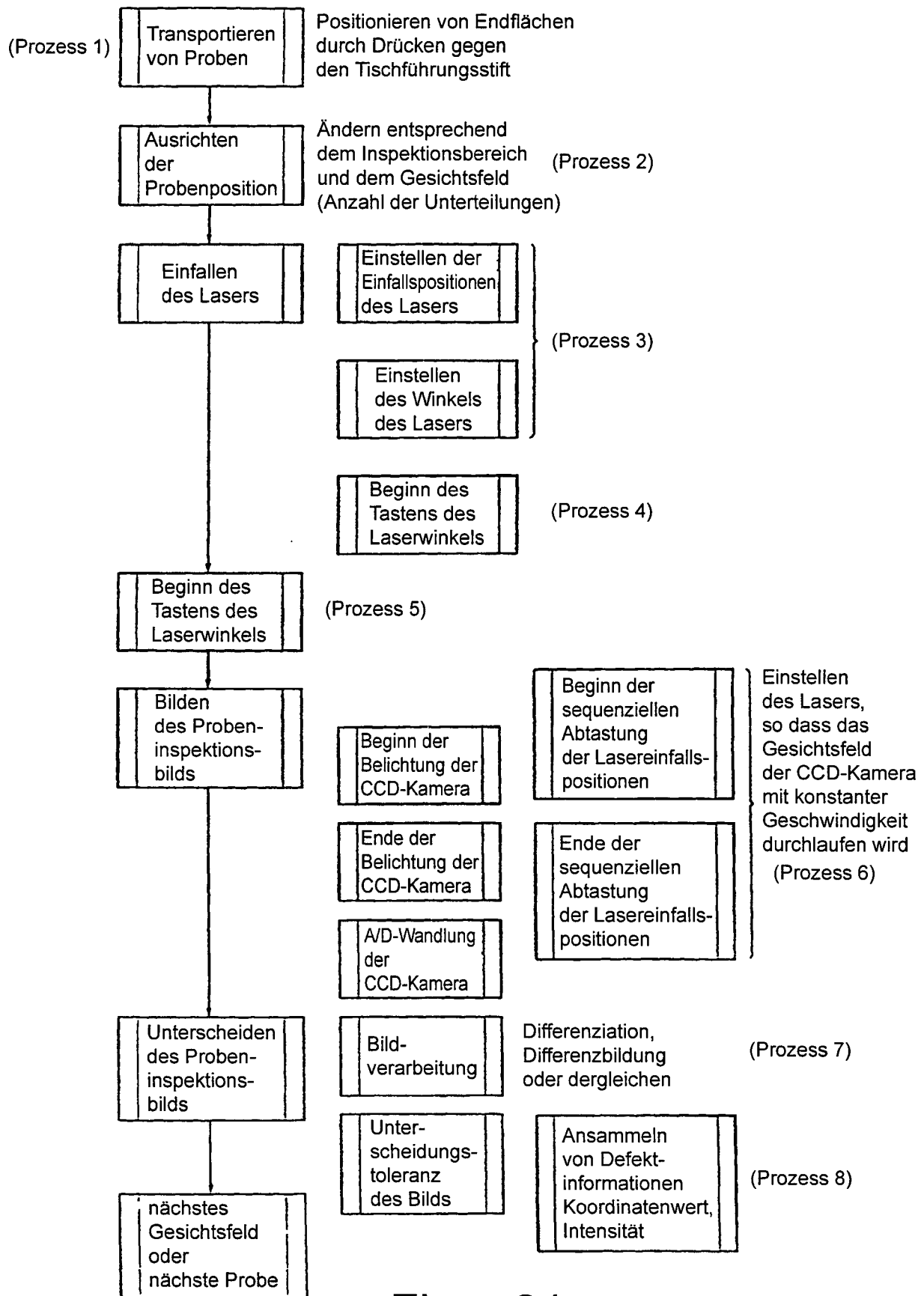
Figur 18



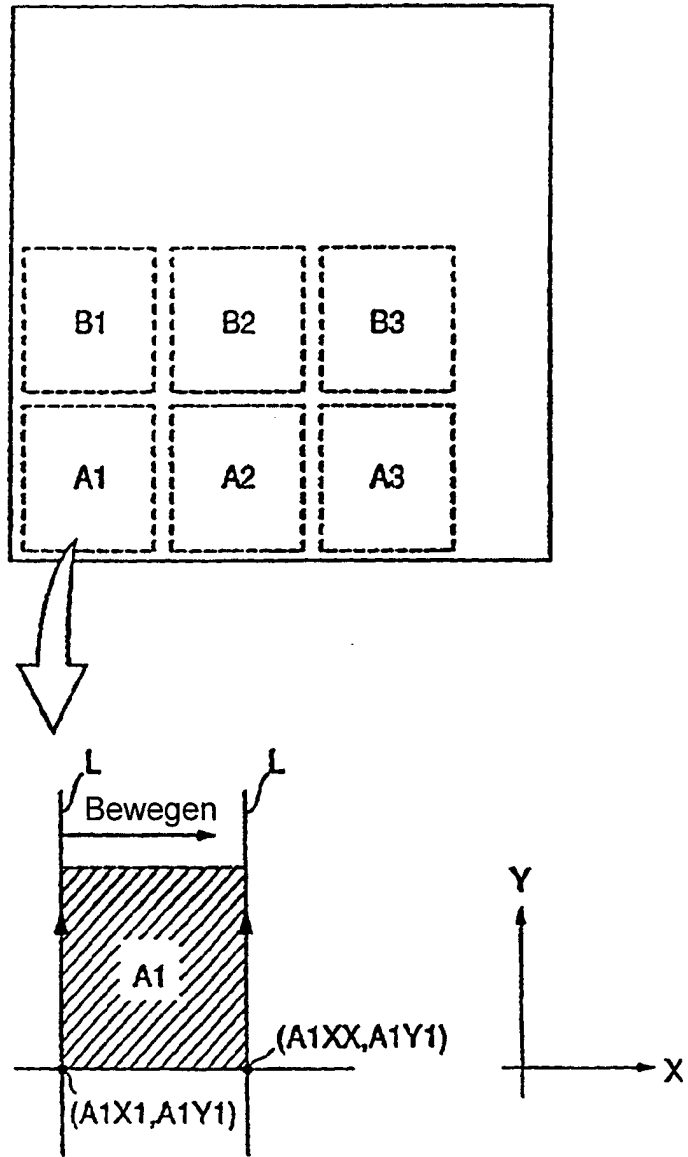
Figur 19



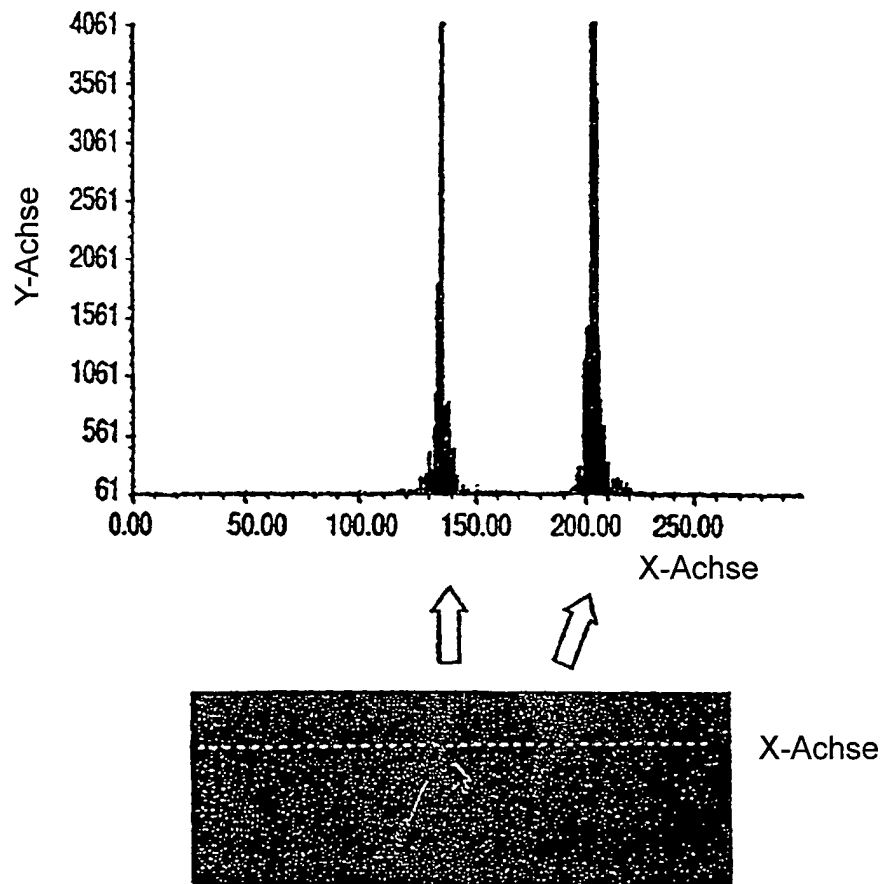
Figur 20



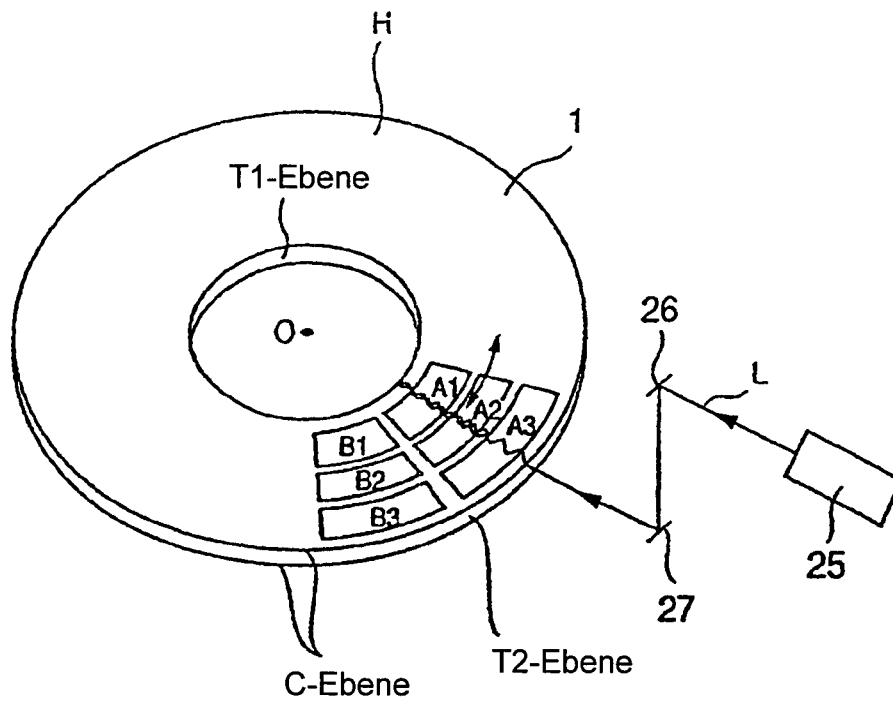
Figur 21



Figur 22

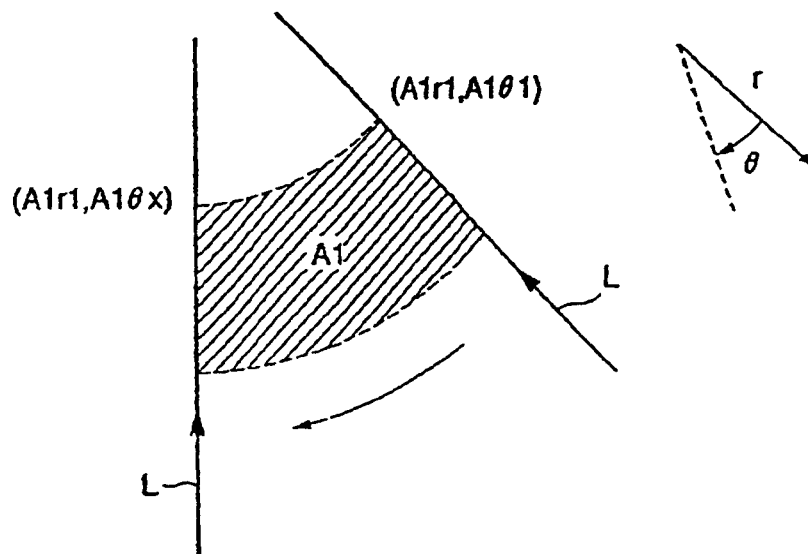


Figur 23

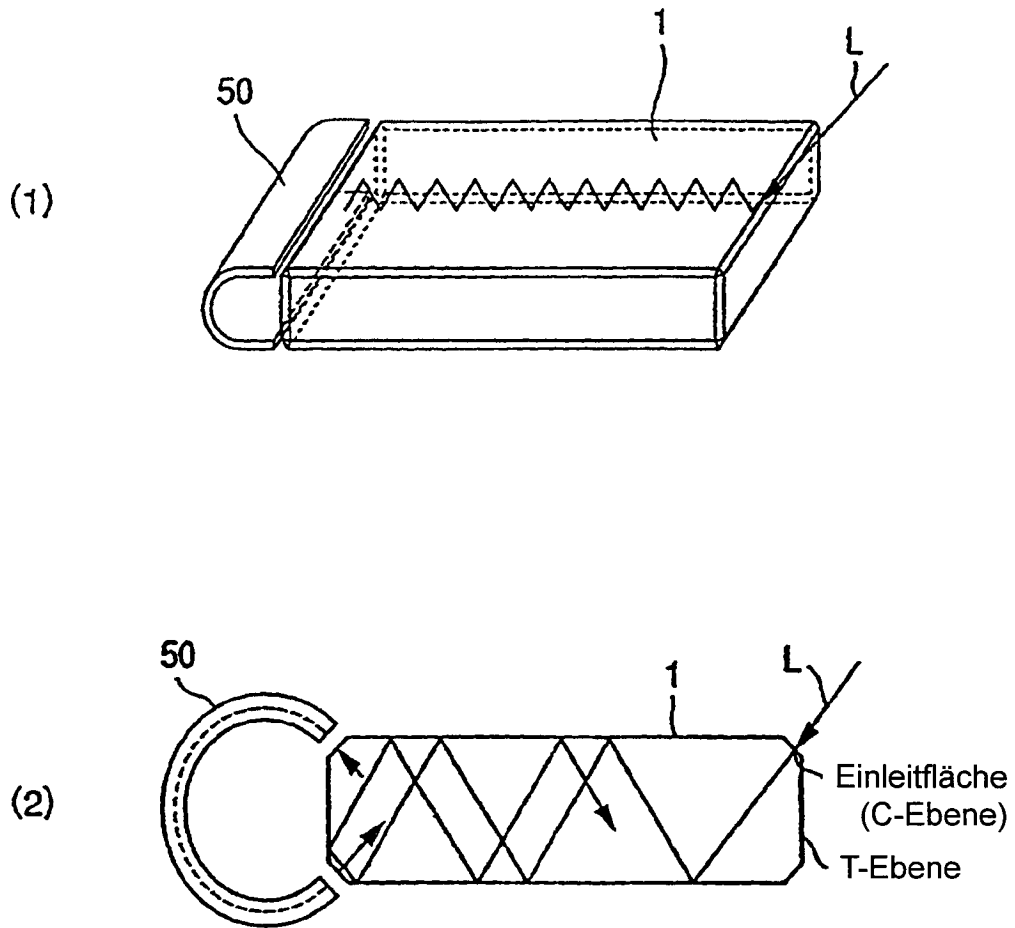


Figur 24

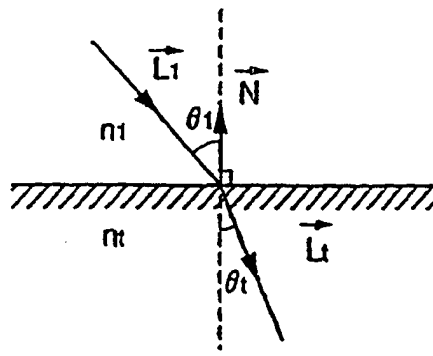
- O (Mitte der Scheibe)



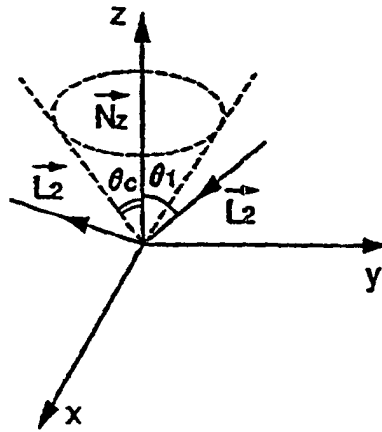
Figur 25



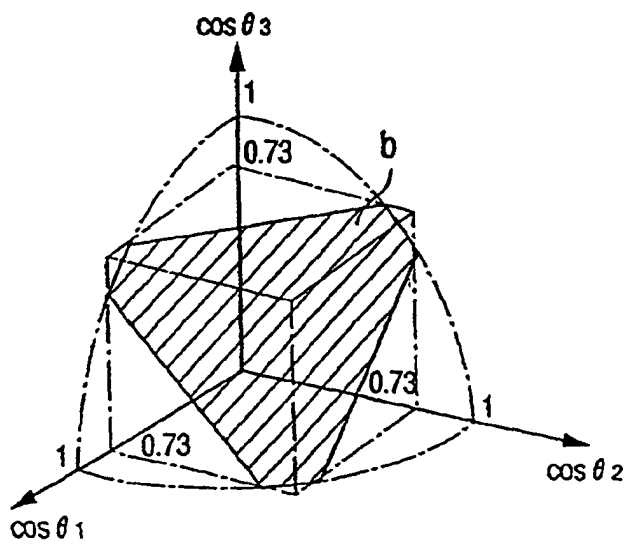
Figur 26



Figur 27



Figur 28



Figur 29