



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2006 051 538 B4** 2009.04.09

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2006 051 538.2**
(22) Anmeldetag: **27.10.2006**
(43) Offenlegungstag: **30.04.2008**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **09.04.2009**

(51) Int Cl.⁸: **G01B 11/30** (2006.01)
G01N 21/896 (2006.01)

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:

SCHOTT AG, 55122 Mainz, DE

(74) Vertreter:

Blumbach Zinngrebe, 65187 Wiesbaden

(72) Erfinder:

Ottermann, Clemens, Dr., 65795 Hattersheim, DE;
Ortner, Andreas, 55262 Heidesheim, DE; Gerstner,
Klaus, Dr., 65474 Bischofsheim, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

DE 196 43 017 C1

DE 100 40 640 C2

DE 199 44 354 A1

DE 196 43 018 A1

DE 38 16 392 A1

EP 09 52 122 A1

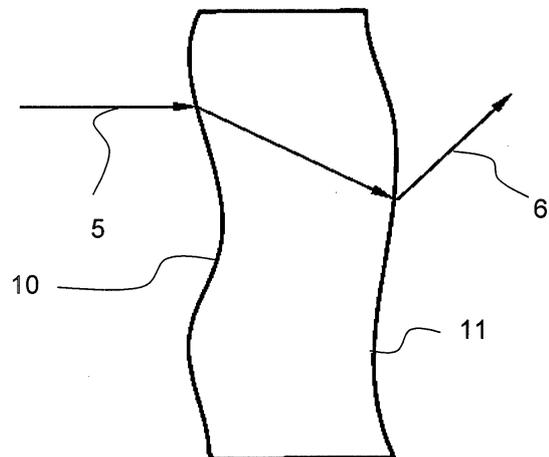
DIN 4760, Gestaltabweichungen, Juni 1982; Norm

SEM

I D15-1296 (1996);

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zur Bestimmung der Waviness von Glasscheiben**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Bestimmung der Waviness von Flachglas-Substraten, bei welchem optisch und berührungsfrei die Ablenkung von durch das Substrat transmittierten Lichtstrahlen an lokalen Verformungen der Oberfläche des Flachglas-Substrats erfaßt und anhand der erfassten Ablenkung oder wenigstens einer sich daraus ergebenden Meßgröße die Lage und Höhe der lokalen Verformungen quantitativ bestimmt werden, wobei zur Berechnung der Lage und Höhe der lokalen Verformungen die Ablenkungswerte oder sich daraus ableitende Größen über den Meßort integriert werden.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft allgemein die Herstellung von Glasscheiben, insbesondere die Feststellung und Analyse von Welligkeiten bei der Herstellung.

[0002] Hochwertige Spezialgläser für Displayanwendungen müssen möglichst frei von lokalen Topographievariationen sein. Besonders für die Substrate zur Fertigung von TFT-Anzeigen sind diese Anforderungen sehr hoch.

[0003] Ziehstreifen sind lokale Schwankungen in der Dicke des Glases (d) und/oder der Brechzahl (n). Typische Strukturgrößen reichen dabei von Submillimetern bis in den Zentimeterbereich hinein. In Ziehrichtung des Glases können die Ziehstreifen sehr unterschiedliche Ausdehnung haben. Bei in Richtung senkrecht zur Ziehrichtung ortsfesten Strukturen – wie sie bei verschlissenen oder kristallbehafteten Düsen in der Heißfertigung vorkommen können – sind die vorkommenden Ziehstreifen prinzipiell über Tage hinweg stabil. Andererseits können hinter größeren Störungen im Glasband meist ein Ziehstreifen hinterhergezogen werden, die nach einigen Zentimetern bis Metern wieder verschwinden. Ursache hierfür können z. B. durch Temperaturunterschiede hervorgerufene lokale Viskositätsunterschiede in der geschmolzenen Glasmasse sein.

[0004] Ziehstreifen können sowohl durch ihre optische Wirkung – helle und dunkle Streifen bei geeigneter Beleuchtung – als auch durch quantitative Meßmethoden beschrieben werden. Im fertigen Display kann ein streifiges Glas ein streifiges Bild erzeugen und ist dann nicht tolerabel. Durch die verwendeten Lithografieschritte bei der Herstellung von TFT-Anzeigen können aber noch kompliziertere Fehlermechanismen eintreten, so dass die Anforderungen an die Ziehstreifenfreiheit des Glases sehr hoch sind und somit überwacht werden müssen.

[0005] Aus dem Stand der Technik sind verschiedene Verfahren zur Analyse von Fehlern bei der Glasherstellung bekannt. Fehler oder Unregelmäßigkeiten, die bei der Herstellung von Glasscheiben auftreten können, sind neben Fehlern im Volumen, wie etwa von Gaseinschlüssen auch Welligkeiten der Oberfläche. Welche Welligkeiten noch tolerierbar sind, hängt dabei von der jeweiligen Anwendung und den geforderten Spezifikationen ab. Bei der Dünnglasfertigung für Spezialanwendungen, z. B. für Flachdisplays spielt die Glashomogenität eine große Rolle. Das hergestellte Glas muss möglichst frei von sogenannter Ziehstreifigkeit ("Striations") und Oberflächenwelligkeit, insbesondere Oberflächen-Feinwelligkeit ("Waviness") sein, da diese den visuellen Eindruck des fertigen Display beeinträchtigen können, z. B. über Änderung der LC-gap-Breite und da-

mit des Rotationswinkels der Flüssigkristalle. Typische Ursache für beide Phänomene könnte u. a. Brechkraftuniformitäten (Schlieren) oder Dickeninhomogenitäten des Glases sein, im vorliegenden Fall sind dies jedoch in der Regel Inhomogenitäten der Glasdicke, die im Herstellungsprozess deutlich vor bemerkbaren Brechwertänderungen auftreten. Überraschenderweise wurde gefunden, dass Ziehstreifigkeit (als Volumeneffekt) und Waviness (als Oberflächeneffekt) bei Glasscheiben für Displayanwendungen (FPD: flat panel displays) miteinander korrelieren.

[0006] Bisher wurden für die Überwachung der Ziehstreifigkeit in der Dünnglasfertigung weiterhin vorwiegend visuelle Inspektionsmethoden eingesetzt. Hierzu wird die Glasscheibe mittels einer definierten punktförmigen Lichtquelle durchleuchtet und die durchtretende Lichtintensitätsverteilung in der Beobachtungsebene mit einem Schirm oder mittels einer Kamera detektiert. Im Falle eines zur Scheibe senkrechtem Lichtdurchtritts treten i. d. R. in der Beobachtungsebene keine Helligkeitsunterschiede auf. Wird die Scheibe in einer Vorzugsrichtung (z. B. mit der Ziehrichtung als Drehachsenrichtung) aus der Ebene senkrecht zur Projektionsrichtung der Lichtquelle gedreht, so sind ab einem gewissen Drehwinkel streifenartige Helligkeitsunterschiede, hervorgerufen durch die optische Wirkung von Ziehstreifen, in der Beobachtungsebene sichtbar. Der Grenzwinkel der zum erstmaligen Auftreten dieser detektierbaren Helligkeitsunterschiede führt ist ein Maß für die Ziehstreifigkeit des Glases.

[0007] Die vorgenannte Methode weist einige prinzipielle Nachteile auf:

- die visuelle Beurteilung ist subjektiv und damit abhängig von jeweiligen Prüfer,
- bei vollständiger Kontrolle des gesamten Produktionsaufkommens ist das Verfahren sehr aufwendig und arbeitsintensiv,
- Es besteht die Gefahr von Fehlbeurteilungen durch die Ermüdung des Betrachters,
- Die Kontrollen der Glasscheiben zeigen immer nur eine "Momentaufnahme" des Prozesses, d. h.
- generell können bei visueller Kontrolle keine Zusammenhänge und langfristigen Tendenzen erfasst und dargestellt werden,
- außerdem wird zur Bewertung der Glasqualität der Winkel herangezogen, bei den die ersten Ziehstreifen beobachtet werden können – diese Bewertung ist nur schwer automatisierbar.
- Die Ausbildung der Streifenendarstellung in der Beobachtungsebene ist von der Beleuchtungsart, insbesondere von den Eigenschaften der Lichtquelle abhängig.
- Der Abstand Glasscheibe – Beobachtungsebene (Fokalebene) hat ebenfalls Einfluss auf den Wert des Grenzwinkels

[0008] Ein Teil dieser Punkte lässt sich durch eine Automatisierung der Überwachung (Bilderfassung mittels Kameratechniken) abschwächen bzw. beseitigen. Jedoch ist generell zu beachten, dass in einer Aufnahme der Streifen als Graustufenbild die Streifeninformation nur qualitativ erfasst wird. Die erfassbaren Graustufen geben keinen eindeutigen Hinweis auf die Struktur der Ziehstreifen. Anhand der Daten kann nicht eindeutig auf die Stärke der Fokussierung, beziehungsweise darauf, ob die Fokalebene des Streifens auf, vor, oder hinter der Bildebene der Detektion liegt, oder auf die laterale Ausdehnung des fokussierenden/ defokussierenden Ziehstreifens geschlossen werden. Dies bedeutet, daß Ziehstreifen unterschiedlicher Ausprägung zum gleichen Graubild führen können.

[0009] Aus der DE 196 43 017 C1 ist ein Verfahren für die Ermittlung von optischen Fehlern (wie z. B. feste Einschlüsse oder Blasen) in großflächigen Scheiben bekannt, bei welchem ein Hell-Dunkel-Muster in Form eines Kreuzrasters durch eine Scheibe hindurch auf eine Kamera fällt, wobei das Kreuzraster und die Kamera so aufeinander abgestimmt sind, daß jeweils ein Paar von Hell/Dunkel-Streifen des Kreuzrasters auf drei benachbarte Pixel der Kamera abgebildet wird. Im Falle einer idealen Abbildung auf die Kamera kommt es infolge des Umstands, daß die Gitterfrequenz der Kamerapixel und die Gitterfrequenz des Beleuchtungsrasters Vielfache voneinander sind, zu einer regelmäßigen Moiré-Erscheinung, die an der Kamera registriert wird. Eine ähnliche Anordnung zur Messung in Reflexion ist aus der DE 196 43 018 A1 bekannt.

[0010] Aus der DE 38 16 392 A1 ist ein Verfahren zur Bestimmung der optischen Qualität von Flachglas bekannt, bei welchem die Ablenkung von durch das Substrat transmittierten Lichtstrahlen an lokalen Verformungen der Oberfläche des Flachglases erfasst und anhand der Ablenkung das Brechkraft-Profil der Oberfläche bestimmt wird.

[0011] Die DE 199 44 354 A1 beschreibt ein Verfahren zur Bestimmung der Abbildungseigenschaften von spiegelnden oder transparenten Prüflingen, mit welchem die Form oder die Abbildungseigenschaften des Prüflings bestimmt werden kann. Das Verfahren beruht darauf, daß ein im wesentlichen sinusförmiges Muster, das in einem Abstand von Prüfling erzeugt wird, nach Spiegelung oder in Durchsicht durch den Prüfling von einer Hilfsoptik abgebildet und die lokale Phase dieses Musters in der Bildebene bestimmt wird.

[0012] In der DE 100 40 640 C2 werden ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Herstellung von Einzelglasscheiben beschrieben, die mit einer wiederablösbaren Schutzschicht versehen sind. Es wird ein kontinuierliches Glasband hergestellt, aus welchem die

Einzelglasscheiben geschnitten werden. Am kontinuierlichen Glasband wird mittels einer Meßeinrichtung eine Messung der Feinwelligkeit vorgenommen.

[0013] Die EP 0 952 122 A1 beschreibt eine Vorrichtung zur Herstellung von Flachglas-Substraten, bei welcher ebenfalls ein kontinuierliches Glasband hergestellt wird. Mittels eines die Oberfläche berührenden Meßstifts wird die Rauigkeit der Oberfläche bestimmt.

[0014] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die bisher bekannten Verfahren zur Beurteilung der Qualität von Glasoberflächen zu verbessern und für Inline-Messungen anwendbar zu gestalten. Diese Aufgabe wird bereits in höchst überraschend einfacher Weise durch den Gegenstand der unabhängigen Ansprüche gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen und Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

[0015] Demgemäß sieht die Erfindung ein Verfahren zur Bestimmung der Waviness von Flachglas-Substraten vor, bei welchem optisch und berührungsfrei die Ablenkung von durch das Substrat transmittierten Lichtstrahlen an lokalen Verformungen der Oberfläche des Flachglas-Substrats erfasst und anhand der erfassten Ablenkung oder wenigstens einer sich daraus ergebenden Meßgröße die Lage und Höhe der lokalen Verformungen quantitativ bestimmt werden, wobei zur Berechnung der Lage und Höhe der lokalen Verformungen die Ablenkungswerte oder sich daraus ableitende Größen über den Meßort integriert wird.

[0016] Eine entsprechende Vorrichtung zur Bestimmung der Waviness von Flachglas-Substraten umfaßt dazu entsprechend eine optische Meßanordnung mit einer Einrichtung zur Beleuchtung des Flachglas-Substrats mit Lichtstrahlen und einer Einrichtung zur Erfassung der Ablenkung von durch das Substrat transmittierter Lichtstrahlen an lokalen Verformungen der Oberfläche des Flachglas-Substrats oder sich aus der Ablenkung ergebender Größen, sowie einer Einrichtung zur Berechnung der quantitativen Lage und Höhe der lokalen Verformungen aus dieser Meßgröße anhand einer von der Einrichtung durchführbaren Integration der Ablenkungswerte oder sich daraus ergebender Größen über den Meßort.

[0017] Die Erfindung basiert demnach auf einer Vermessung der Oberfläche mittels transmittierter Lichtstrahlen. Zwar erscheint für eine Untersuchung der Welligkeit der Oberfläche auf den ersten Blick eine Reflexionsmessung sinnvoller, die Erfinder haben jedoch überraschend herausgefunden, daß Transmissionsverfahren wesentlich unempfindlicher hinsichtlich der Lage des Substrates sind. Der Erfindung liegt dazu noch die weitere Erkenntnis zugrunde, daß

auch eine quantitative Bestimmung von Verformungen anhand der Lichtbrechung an den Verformungen möglich ist, indem die Werte der Ablenkung, oder korrespondierende Meßgrößen, wie die mit der Lichtbrechung einhergehenden Intensitätsschwankungen durch eine Integration über eine oder mehrere Ortskoordinaten in Höhenprofil-Daten umgerechnet werden können.

[0018] Im Zusammenwirken dieser beiden Merkmale wird die Erfindung daher erst für Bedingungen einsetzbar, die eine sehr schnelle Erfassung der Oberfläche großflächiger Substrate, insbesondere im Inline-Betrieb, also auch während der laufenden Produktion ermöglicht. Bisher war die Bestimmung der Waviness lediglich in Stichproben möglich. Insbesondere können mit der Integration die Lage und Höhe lokaler Verformungen in Form von Höhenprofil-Werten der Oberfläche errechnet werden. Diese Daten eignen sich dann auch hervorragend für eine weitere Auswertung, insbesondere der Bestimmung von Kenngrößen, welche die Welligkeit der Oberfläche charakterisieren.

[0019] Unter den lokalen Verformungen, welche der Waviness zuzuordnen sind und wie sie mit der Erfindung quantitativ in Lage und Höhe bestimmt werden, werden im Sinne der Erfindung insbesondere Gestaltabweichungen zweiter bis vierter Ordnung gemäß DIN 4760 verstanden. Die aus der Messung bestimmte Waviness der gesamten Oberfläche des Substrats oder eines Teilbereiches der Oberfläche entspricht vorzugsweise der Maßzahl der Waviness, wie sie gemäß der Norm SEMI D15-1296 (1996) bestimmt wird.

[0020] Eine solche Maßzahl für die Waviness zumindest eines Bereiches der Oberfläche des Substrats kann insbesondere durch die Vorrichtung errechnet werden, indem mit der Integration Höhenprofil-Werte des Bereiches entlang einer Richtung errechnet und Differenzen des Maximal- zu den Minimalwerten beidseitig des Maximalwerts der Höhenprofilwerte jeweils innerhalb einer Vielzahl von unterschiedlichen Ortsbereichen vorgegebener gleicher Größe bestimmt, daraus die jeweils die Differenz des Maximalwerts zum Mittel der Minimalwerte bestimmt und daraus der Maximalwert dieser so bestimmten Differenzen ermittelt wird. Diese Maßzahl entspricht dann bei entsprechender Auswahl der Größe der Ortsbereiche und der Filterung der Rohdaten dem Maximalwert W_{fpi} , wie er gemäß der SEMI-Norm SEMI D15-1296 (1996) für die Charakterisierung der Waviness empfohlen wird.

[0021] Die Erfassung der Wechselwirkung umfaßt besonders bevorzugt die Messung der Ablenkung von Lichtstrahlen an den lokalen Verformungen mittels einer entsprechend ausgebildeten Einrichtung. Solche Ablenkungen können refraktiver Art sein, wo-

bei die Verformungen als refraktive Elemente auf das Licht einwirken. Ebenso können sich solche Ablenkungen aber auch durch Reflexion an der verformten Oberfläche ergeben. In beiden Fällen ergibt sich eine Ablenkung gegenüber einem an einer perfekt ebenen Oberfläche gebrochenen oder reflektierten Lichtstrahl.

[0022] In vorteilhafter Weiterbildung wird anhand der Meßwerte, beziehungsweise der erfassten Meßgröße die laterale Ausdehnung lokaler Verformungen quantitativ bestimmt.

[0023] Sehr wichtig, um Aussagen über die Brauchbarkeit eines Flachglas-Substrats treffen zu können, ist es insbesondere auch, die Maximalwerte von Verformungen zu kennen. Eine besonders vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung betrifft daher die quantitative Bestimmung der Maximalhöhe einer Verformung, wie insbesondere einer Verformung aufgrund einer Feinwelligkeit, beziehungsweise Waviness. Die Maximalhöhe kann beispielsweise als Rt-Wert (Peak-to-Valley-Wert) bestimmt werden, also die Differenz von höchstem zu niedrigstem Punkt einer wellenförmigen Verformung, oder auch nach dem in der SEMI-Norm D15-1296 aufgeführten Verfahren.

[0024] Die Waviness oder Feinwelligkeit betrifft Strukturen bestimmter lateraler Ausdehnungen. Um die Waviness fehlerfrei oder zumindest fehlerarm bestimmen zu können, ist in Weiterbildung der Erfindung dazu vorgesehen, die entsprechenden Strukturgrößen auszufiltern. Dies wird bevorzugt durchgeführt, indem die Höhe anhand Ortsfrequenzgewichteter Meßwerte bestimmt wird. Ebenso kann eine solche Wichtung auch für die Bestimmung von Lage und/oder Ausdehnung von Verformungen durchgeführt werden. Um eine solche Wichtung zu erreichen, können die Meßwerte oder die sich aus der Messung ergebenden Meßgrößen insbesondere mit einer Filterfunktion, insbesondere einer Bandfilter-Funktion gefaltet werden. Eine entsprechend ausgebildete Vorrichtung umfaßt dazu demgemäß eine Einrichtung zur Filterung der die Meßwerte oder der sich aus der Messung ergebenden Meßgrößen mit einer Filterfunktion.

[0025] Die Erfassung und Vermessung der lokalen Verformungen kann allgemein mittels einer entsprechend ausgestalteten optischen Meßanordnung zur Messung der Wechselwirkung von durch das Substrat transmittierten Lichtstrahlen erfasst werden. In zusätzlicher Ausgestaltung der Erfindung kann auch eine Wechselwirkung von reflektierten Lichtstrahlen erfasst werden.

[0026] Um die Lage und Höhe der lokalen Verformungen quantitativ zu bestimmen, wird bevorzugt eine Integration der Wechselwirkungswerte, wie insbesondere von Ablenkungswerten oder wenigstens

einer sich daraus ergebenden Meßgröße über den Meßort vorgenommen. Dementsprechend umfaßt bei einer Vorrichtung gemäß dieser Ausführungsform der Erfindung die Einrichtung zur Berechnung der quantitativen Lage und Höhe der lokalen Verformungen aus dieser Meßgröße eine Einrichtung zur Integration der Meßgröße über den Meßort. Bisher wurden lokale Verformungen nur anhand ihrer Dioptrienzahl charakterisiert. Diese Meßgröße ergibt sich im Unterschied zur Erfindung aber durch eine Differentiation. Aus der Dioptrienzahl alleine kann aber eine quantitative Bestimmung der Höhe einer Verformung nicht erfolgen, da die Brechkraft in erster Linie nur von der Krümmung abhängt.

[0027] In bevorzugter Weiterbildung werden die Meßwerte mittels einer entsprechend eingerichteten Vorrichtung so gefiltert, daß das Maximum der Filterfunktion im Bereich von 0,25 bis 25 Millimetern, vorzugsweise im Bereich von 0,8 bis 8 Millimetern, besonders bevorzugt im Bereich von 1 bis 3 Millimetern liegt. Als dieses Maximum wird der Punkt oder Bereich mit dem höchsten Gewicht verstanden. Dementsprechend tragen dann Strukturen mit Ausdehnungen entsprechend dem Maximum der Filterfunktion am meisten zu den gefilterten Meßwerten oder Meßgrößen bei. Strukturen mit den oben angegebenen Ausdehnungen sind besonders kritisch beispielsweise für Verwendung als Substrat für Flachbildschirme. Strukturen dieser Größen können bei einer Betrachtung unter schrägem oder streifendem Winkel sichtbar werden und den Bildeindruck nachteilig beeinflussen. Auch können sie sich nachteilig auf die Qualität der auf dem Substrat hergestellten Schaltungen bis hin zum Ausfall einzelner Pixel auswirken. Insbesondere können die Meßwerte oder die sich aus der Messung ergebenden Meßgrößen mit einem Filter mit den Eckfrequenzen 0.8 mm bis 8 mm und 50% Transmission gefiltert und gemäß Semi Norm D 15-1296 ausgewertet werden, insbesondere unter Bestimmung der Waviness. Die Filterung und Auswertung gemäß dieser Ausführungsform der Erfindung, insbesondere mit entsprechenden Einrichtungen der erfindungsgemäßen Vorrichtung liefert dann direkt für die Halbleiterindustrie aussagekräftige Werte für die Qualität des Glases.

[0028] Das Filtern kann auf zwei Arten geschehen, die auch kumulativ eingesetzt werden können. Erstens kann bereits eine optische Meßanordnung zur Messung der Wechselwirkung, insbesondere der Ablenkung von Lichtstrahlen vorgesehen werden, welche eine wichtige Filterwirkung bezüglich der Ortsfrequenz auf die Meßwerte bewirkt. Zweitens kann auch eine separate Filterung bezüglich der Ortsfrequenz an bereits aufgenommenen Meßwerten oder Meßgrößen erfolgen. Letzteres kann beispielsweise mittels einer geeignet programmierten Recheneinrichtung durchgeführt werden. Dies hat den Vorteil, dass die gleichen Messdaten mit unterschiedlichen

Filterfunktionen bewertet werden können.

[0029] Eine mögliche Filterfunktion ist eine 2RC-Filterung. Eine solche Filterung entspricht der Filterfunktion eines aus zwei RC-Gliedern zusammengesetzten Filters. Mit einer solchen Filterung kann beispielsweise eine Gewichtung mit einem plateauartigen Maximum der Ortsfrequenzen durchgeführt werden. Weiterhin kann auch eine Bandpaßfilterung durch verschiedene RC-Glieder oder äquivalente Einrichtungen, beispielsweise auch softwaretechnisch vorgenommen werden. Auf diese Weise können die Eckfrequenzen der Filterung bei den oben angegebenen Werten von z. B. 0,25 Millimetern und 25 Millimetern oder innerhalb dieser Werte liegen. Eine weitere Möglichkeit ist, eine Einrichtung zur Gauß-Filterung der Meßwerte oder sich daraus ergebender Meßgrößen einzusetzen. Bei einer solchen Filterung ist das Maximum der Filterfunktion nicht plateauartig, die Filterung kann so auf eine bestimmte vorherrschende Strukturbreite von feinschwebigen Oberflächenverformungen abgestimmt werden.

[0030] Besonders bevorzugt werden dabei -unabhängig von der Art der Filterung, wie etwa einem Gauß-Filter-phasenkorrekte Filter. Dies ist unter anderem von Vorteil, wenn es auf eine möglichst genaue Bestimmung der Lage der Verformungen ankommt. Auch werden Fehler bei der Höhenbestimmung verringert, da die gemessene Ortsposition von Strukturen bei nicht phasenkorrekter Filterung von der tatsächlichen Position abweichen kann und es zur Überlagerung dieser Strukturen kommen kann.

[0031] Eine Möglichkeit, die Waviness zu messen, ist, lokale Verformungen der Oberfläche des Flachglas-Substrats optisch durch die Veränderung eines Moiré-Musters zu erfassen und deren Lage und Höhe quantitativ zu bestimmen. Allgemein basiert diese Ausführungsform der Erfindung darauf, daß ein Moiré-Muster aus der Überlagerung zweier Raster erfasst wird, wobei die von einem der Raster ausgehenden Lichtstrahlen mit dem Flachglas-Substrat Wechselwirken, insbesondere an dessen Oberfläche reflektiert oder gebrochen werden. Demgemäß umfaßt dazu eine optische Meßanordnung ein Raster und eine Einrichtung zur Erfassung eines zweidimensionalen Moiré-Musters aus der Überlagerung der Abbildung des ersten Rasters über mit dem Flachglas-Substrat wechselwirkender Lichtstrahlen mit einem zweiten Raster.

[0032] Eine entsprechende Vorrichtung gemäß dieser Ausführungsform der Erfindung umfaßt dazu eine optische Meßanordnung mit zumindest einem ersten Raster und zumindest einer Kamera zur Aufnahme des Rasters, sowie einer Einrichtung zur Anordnung eines Flachglas-Substrats so daß dieses im Strahlengang zwischen dem ersten Raster und der Kamera liegt, und eine an die Kamera angeschlossene

Auswerteeinrichtung, mit welcher lokale Verformungen des Flachglas-Substrats erfaßt und deren Lage und Höhe quantitativ bestimmt werden.

[0033] Das Moiré-Muster kann dabei in einfacher Weise bereits dadurch erzeugt werden, indem das Raster auf die Pixel der Kamera abgebildet wird. Ein Moiré-Muster ist dann besonders gut zu erkennen, wenn die Periode des auf die Pixel abgebildeten Rasters in der gleichen Größenordnung wie der Abstand der Pixel selbst ist. Bevorzugt sollte die Periode des Rasters insbesondere nicht um mehr als einen Faktor 10 von der Periode der Pixel abweichen.

[0034] Alternativ kann auch ein weiteres Raster eingesetzt werden, welches der Kamera vorgeschaltet und dem Flachglas-Substrat im Strahlengang nachgeschaltet ist, wobei sich das Moiré-Muster aus der Überlagerung der beiden Rasterbilder ergibt und von der Kamera aufgenommen wird. Das erste Raster kann selbstleuchtend sein und dazu beispielsweise eine Anordnung von Lichtquellen, wie etwa von Leuchtdioden umfassen. Bei einer passiven Beleuchtung kann beispielsweise hinter dem Raster eine flächige Lichtquelle angeordnet sein.

[0035] Ähnlich wie das vorstehend beschriebene Moiré-Verfahren funktioniert auch eine andere Weiterbildung der Erfindung. Dabei wird die Lageschwerpunkts-Änderung von auf einem Sensor abgebildeten Lichtpunkten, vorzugsweise von einer Leuchtdioden-Anordnung durch die Ablenkung der Lichtstrahlen von den Lichtquellen aufgrund der optischen Wirkung von Gestaltabweichungen des Substrats erfaßt. Vorzugsweise wird eine Differenzmessung der Signale zumindest zweier Gruppen von Lichtpunkten vorgenommen. Dabei sind die einzelnen Lichtpunkte einer Gruppe jeweils zu Lichtpunkten der anderen Gruppe benachbart. Die Zuordnung der Signale der Lichtpunkte kann beispielsweise über einen zeitlich alternierenden Betrieb der Gruppen oder über deren Farbe erfolgen.

[0036] Gemäß noch einer Weiterbildung der Erfindung werden zumindest zwei Raster verwendet, wobei die Einrichtung zur Erfassung zumindest einer sich aus der Ablenkung der Lichtstrahlen an lokalen Verformungen der Oberfläche des Flachglas-Substrats ergebenden Meßgröße eine Einrichtung zur abwechselnden Erfassung der beiden Raster umfaßt.

[0037] Allgemein kann eine Differenzmessung eingesetzt werden, um Wechselwirkungen, wie insbesondere Ablenkungen von Lichtstrahlen an lokalen Verformungen der Oberfläche des Flachglas-Substrats zu detektieren. Bei einer entsprechend ausgebildeten Vorrichtung umfaßt dazu die Einrichtung zur Erfassung zumindest einer sich aus der Ablenkung der Lichtstrahlen an lokalen Verformungen der Oberfläche des Flachglas-Substrats ergebenden Meßgröße

eine Einrichtung zur Differenzmessung von Lichtsignalen. So können bei der vorstehend beschriebenen Weiterbildung der Erfindung mit einer abwechselnden Erfassung der durch das Glassubstrat beeinflussten Lichtsignale die erfassten Signale der beiden Raster beispielsweise voneinander abgezogen werden. Das Differenzsignal dieser beiden Raster ergibt dann eine empfindliche Meßgröße als Ausgangspunkt für die Bestimmung der Lage und Höhe von Verformungen auf dem Flachglas-Substrat. Bei einer entsprechend ausgebildeten Vorrichtung umfaßt dazu die Einrichtung zur Erfassung zumindest einer sich aus der Ablenkung der Lichtstrahlen an lokalen Verformungen der Oberfläche des Flachglas-Substrats ergebenden Meßgröße eine Einrichtung zur Differenzmessung von Lichtsignalen.

[0038] Allgemein können in weiterer Ausgestaltung der Erfindung auch Verformungen mittels einer geeigneten optischen Meßanordnung anhand der Ablenkung von Lichtstrahlen in zwei unterschiedlichen Richtungen entlang der Oberfläche des Flachglas-Substrats erfaßt werden. Wird eine Erfassung mittels der Veränderung eines Moiré-Musters durchgeführt, so kann dazu beispielsweise als erstes Raster ein Flächenraster und als Kamera eine Matrix-Kamera eingesetzt werden. Ebenso ist es möglich, die Veränderung von Moiré-Mustern zweier eindimensionaler Raster zu erfassen, welche in einem Winkel zueinander stehen.

[0039] Für die Messung mit eindimensionalen Rastern oder einem anderen linienförmig abtastenden Verfahren eignen sich insbesondere optische Meßanordnungen mit zumindest einer Zeilenkamera.

[0040] Werden die Ablenkungen in einer bestimmten Richtung erfaßt, ist es außerdem vorteilhaft, wenn lokale Verformungen anhand der Ablenkung von Lichtstrahlen in einer Richtung entlang der Oberfläche des Flachglas-Substrats erfaßt werden, welche schräg zur Vorschubrichtung, insbesondere senkrecht dazu liegt. Die Vorschubrichtung kann dabei die Vorschubrichtung des Substrats gegenüber der optischen Meßanordnung sein. Dies ist insbesondere bei einer Inline-Messung am kontinuierlichen Glasband oder an den bereits vereinzelt Substraten vorteilhaft, wenn diese auf einem Transportband bewegt werden. Alternativ oder zusätzlich kann aber auch die optische Meßanordnung entlang einer Vorschubrichtung gegenüber dem Substrat bewegt werden. Besonders vorteilhaft ist diese Ausgestaltung der Erfindung in Verbindung mit einer Erfassung der Ablenkung von Lichtstrahlen in zwei unterschiedlichen Richtungen entlang der Oberfläche des Flachglas-Substrats. Auf diese Weise können auch mit zwei eindimensionalen Meßanordnungen Verformungen mit Krümmungen in beliebiger Richtung erfaßt und quantitativ vermessen werden.

[0041] Eine weitere Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, daß die optische Meßanordnung zumindest zwei senkrecht zur ihrer Modulationsrichtung beabstandete Raster und eine Kamera umfaßt, auf deren Pixel die Raster abgebildet werden. Mit einer derartigen optischen Meßanordnung sind nicht nur Verformungen mit einem Krümmungsvektor detektierbar, der eine Komponente entlang der Modulationsrichtung aufweist, sondern auch Verformungen mit Krümmungsvektor-Komponenten senkrecht dazu.

[0042] Eine besonders schnelle Erfassung lokaler Verformungen ist insbesondere auch anhand der Veränderung eines zweidimensionalen Moiré-Musters aus der Überlagerung zweier Raster möglich, wobei von einem ersten Raster ausgehende Lichtstrahlen vor der Abbildung auf das zweite Raster mit dem Flachglas-Substrat Wechselwirken. Diese Wechselwirkung kann sowohl eine Reflexion als auch insbesondere eine Brechung an der verformten Oberfläche sein. Eine entsprechende Vorrichtung umfaßt dazu eine die optische Meßanordnung mit einem zweidimensionalen Raster und einer Einrichtung zur Erfassung eines zweidimensionalen Moiré-Musters aus der Überlagerung der Abbildung des ersten Rasters über mit dem Flachglas-Substrat wechselwirkender Lichtstrahlen mit einem zweiten Raster.

[0043] Vorzugsweise wird das Flachglas-Substrat gleichzeitig zumindest entlang seiner Nutzbreite, vorzugsweise entlang seiner gesamten Breite vermessen. Dies ist von Vorteil, um eine schnelle Vermessung, insbesondere für den Inline-Betrieb im laufenden Glasherstellungsprozess zu erreichen.

[0044] Gemäß noch einer Ausführungsform der Erfindung werden lokale Verformungen der Oberfläche durch Laserdeflektion vermessen. Dazu wird die Ablenkung zumindest eines das Flachglas-Substrat abtastenden Laserstrahls an lokalen Deformationen der Oberfläche erfasst. Bei einer entsprechenden Vorrichtung umfasst dazu die optische Meßanordnung einen Laser-Abtast-Einrichtung und eine Einrichtung zur Erfassung der Ablenkung des abtastenden Laserstrahls an lokalen Deformationen der Oberfläche. Hohe Abtastgeschwindigkeiten lassen sich dabei insbesondere erreichen, wenn das Flachglas-Substrat mit zumindest einem Fächerstrahl abgetastet wird, beziehungsweise wenn die Laser-Abtast-Einrichtung einen Fächerstrahl-Laser umfaßt.

[0045] Ein weiterer Mechanismus der quantitativen Bestimmung von Höhe und Lage lokaler Verformungen basiert auf einer Erfassung der Änderung der Phasenlage der Wellenfront eines an lokalen Verformungen mit dem Substrat wechselwirkenden Lichtstrahls. Eine entsprechende optische Meßanordnung mit einer Einrichtung zur Erfassung der Veränderung der Phasenlage der Wellenfront eines an lokalen Verformungen mit dem Substrat wechselwirkenden

Lichtstrahls kann dabei insbesondere eine interferometrische Meßanordnung sein.

[0046] Noch eine weitere Ausführungsform der Erfindung basiert auf einer Schrägbeleuchtung des Substrats durch eine möglichst punkt- oder linienförmige Lichtquelle. Dabei wird das Flachglas-Substrat mit einer punktförmigen oder streifenförmigen Lichtquelle unter schrägem Lichteinfall beleuchtet und die örtliche Intensitätsverteilung des transmittierten oder reflektierten Lichts erfasst und ausgewertet. Eine entsprechende Vorrichtung umfasst eine optische Meßanordnung mit einer punkt- oder linienförmigen Lichtquelle, welche ein zu vermessendes Flachglas-Substrat unter schrägem Lichteinfall beleuchtet, sowie eine Einrichtung zur Erfassung der örtlichen Intensitätsverteilung des transmittierten oder reflektierten Lichts.

[0047] Besonders bevorzugt wird eine Inline-Messung der Glasqualität. Insbesondere kann die Vorrichtung zur Bestimmung der Waviness eines Flachglas-Substrats in Form eines kontinuierlichen Glasbands aus einem kontinuierlichen Heißformungsprozeß, insbesondere aus einem Float- oder Overflow-Fusion-Prozeß ausgebildet sein. Durch die optische und berührungsfreie Bestimmung der Waviness des kontinuierlichen Flachglas-Bands aus dem kontinuierlichen Herstellungsprozeß wird so unter anderem eine direkte Kontrolle des Glasherstellungsprozesses ermöglicht. Überraschend hat sich gezeigt, daß eine exakte und auch quantitative Messung der Feinwelligkeit sogar unter den vergleichsweise rauen Umgebungsbedingungen in einem solchen kontinuierlichen Herstellungsprozeß möglich ist. Hierbei ist unter anderem zu berücksichtigen, daß das Glasband oftmals gar nicht ruhig positioniert werden kann. So können aufgrund des vorgeschalteten Herstellungsprozesses dem Glasband Schwingungen aufgeprägt werden, die weitaus größer sind als die vertikalen Ausdehnungen von Feinwellen oder anderen Oberflächenverformungen. Weiter können mit dem Inline-Verfahren auch die vereinzelt Glasscheiben kontinuierlich in der Fertigungslinie vermessen werden.

[0048] Falls die Ziehstreifen primär durch Variationen in der geometrischen Dicke gebildet werden und diese sich symmetrisch ausbilden (d. h. die sich ergebenden Höhenunterschiede weisen auf Vorder- und Rückseite der Glasplatten ähnliche Stärken auf), kann aus der optischen Wirkung der Streifen direkt aus die Waviness der Glasoberflächen zurückgeschlossen werden. Diese Rahmenbedingungen sind näherungsweise insbesondere für den Down Draw Prozesse, wie Overflow-Fusion oder Down-Draw Glasproduktion aus einer Düse, oder Float-Prozesse erfüllt, so dass nach entsprechender Kalibration mit der Ziehstreifenmessung auch eine Online-Überwachung der Waviness möglich ist. Da die Waviness

eine der kritischen Spezifikationen für TFT-Gläser ist, ergeben sich hieraus Produktionsvorteile durch eine vollständige Qualitätsüberwachung dieser Kenngröße bzw. für effiziente Prozessoptimierungen während Entwicklungsphasen und dem Anfahren des Produktionsprozesses.

[0049] Diese bevorzugte Inline-Messung am Glasband während des laufenden Produktionsprozesses bietet noch weitere vorteilhafte Möglichkeiten, die Herstellung und Produktqualität zu verbessern. So können Meßergebnisse aus der Messung lokaler Verformungen in den Heißformungsprozeß des Glasbands rückgekoppelt werden. Beispielsweise kann die Geschwindigkeit des Ziehvorgangs oder eines Rührers verändert werden, wenn die Messung ergibt, daß die Verformungen an bestimmten Stellen bestimmte Größen überschreiten.

[0050] Eine weitere vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung besteht darin, den Flachglas-Substraten Information, insbesondere einen Datensatz über die gewonnenen Daten über lokale Verformungen kundenseitig verfügbar beizufügen oder zuzuordnen. Dazu kann die Vorrichtung vorteilhaft eine Einrichtung zur Zuordnung von Datensätzen mit gewonnenen Daten über lokale Verformungen zu den Flachglas-Substraten aufweisen. Hier sind verschiedenen Zuordnungsmechanismen denkbar. Beispielsweise kann dem Datensatz die Seriennummer einer solchen Scheibe zugeordnet werden. Ein solcher Datensatz kann dann beispielsweise kundenseitig über das Internet oder ein anderes Übertragungsmedium abgerufen werden. Oder es wird ein Datenträger mit den Daten mehrere Glasscheiben einer Charge solcher Scheiben beigelegt. Auch kann der Datensatz ausgedruckt und beigelegt werden. Demgemäß sieht die Erfindung auch eine Flachglas-Scheibe oder Charge von Flachglas-Scheiben, insbesondere vermessen mit einem erfindungsgemäßen Verfahren oder einer erfindungsgemäßen Vorrichtung vor, welcher eine Information über die an der Scheibe gemessene Waviness, insbesondere einem Datensatz mit Daten über Lage und/oder Höhe lokaler Verformungen der Oberfläche der Scheibe beigelegt oder zugeordnet ist. Wird eine Charge derartig mit einer Information versehen und bezieht sich die Information auf die gesamte Charge, so ist vorzugsweise auch die gesamte Charge oder zumindest 30% davon vermessen worden. Bisher bezog eine Information, wie etwa eine Angabe, daß die Waviness kleiner als ein bestimmter Wert ist, nicht auf die Charge oder die Glasscheibe selber. Vielmehr wurden bisher lediglich einzelne Substrate aus dem Produktionsprozeß entnommen und langwierig, beispielsweise mit einem berührenden Tastschnitt-Verfahren vermessen. Da dieses Verfahren im allgemeinen nicht tolerierbare Spuren auf der Oberfläche hinterläßt, werden dann die vermessenen Scheiben gar nicht mehr vertrieben, sondern sind Ausschuß. Demgemäß bezog sich

eine derartige Information über die Waviness nicht auf die ausgelieferten Substrate selbst.

[0051] Allgemein kann eine sehr schnelle und berührungsfreie quantitative Bestimmung lokaler Verformungen auf Flachglas-Substraten durchgeführt werden. Bisher wurden bei der Produktion derartiger Substrate nur stichprobenartige Messungen durchgeführt. Da als quantitative Meßmethode bisher nur berührende Tastschnitt-Verfahren eingesetzt wurden, war eine solche Messung im Unterschied zur Erfindung auch nicht zerstörungsfrei. Demgegenüber ist gemäß noch einer Weiterbildung der Erfindung vorgesehen, einen großen Teil der Flachglas-Substrate einer laufenden Produktion zerstörungsfrei zu vermessen. So ist vorgesehen, zumindest 30% einer Charge der Produktion oder der Fläche eines kontinuierlichen Glasbands, aus welchem dann einzelne Substrate geschnitten werden, vorzugsweise zumindest 50%, besonders bevorzugt sogar die gesamte Produktion zu überprüfen. Die Überprüfung kann dabei auch später an den einzelnen Flachglas-Substraten erfolgen.

[0052] Insbesondere bei einer Inline-Messung während des laufenden Produktionsprozesses bieten sich durch die unmittelbar verfügbare Kenntnis lokaler Verformungen, wie insbesondere der Waviness unter anderem noch weitere Vorteile und Möglichkeiten. So können die Meßwerte Aufschluß darüber geben, ob der Produktionsprozeß für Optimierungsschritte unterbrochen werden sollte, wenn die Qualität des Glases in Bezug auf die Waviness zu schlecht ist oder wird.

[0053] Weiterhin können die Daten dazu verwendet werden, eine Schnittoptimierung bei der Zerteilung des Glasbands vorzunehmen. Dies bedeutet, daß das Glasband unter Berücksichtigung der Daten über lokale Verformungen zerteilt wird. Dies ist besonders dann vorteilhaft, wenn für verschiedenen Anwendungen unterschiedliche Glasqualitäten benötigt werden. Das Glasband kann dann möglichst so zerteilt werden, daß zumindest zwei Gruppen von Flachglas-Substraten, die unterschiedliche Maximal- oder Durchschnittswerte der Feinwelligkeit aufweisen, durch Zerteilung anhand der gewonnenen Daten hergestellt werden. Derartige Gruppen können beispielsweise verschiedene Klassen unterschiedlicher Qualitätsanforderung einschließlich von Ausschuß-Teilen und/oder verschiedene Substratgrößen umfassen.

[0054] Auch bei einer Messung außerhalb des Herstellungsprozesses der Glasscheiben kann anhand der Daten eine Sortierung nach Qualitätsklassen, z. B. in Color-Plate-Substrate und TFT-Display-Substrate oder in Substrate für TFT-Displays und STN-Displays vorgenommen werden.

[0055] Allgemein kann eine Inline-Messung für eine schnelle Prozessoptimierung oder schnelle Prozessentwicklung durch die Sichtbarmachung des Einflusses von Produktionsaggregaten, wie etwa von Rührern verwendet werden. Durch die Rückkopplung der Daten in den Heißformprozeß können vorteilhaft auch Arbeitspunkte zur Ausbeutesteigerung stabilisiert werden.

[0056] Durch eine lückenlose Protokollierung der Waviness-Qualitätsdaten wird auch eine zeitliche Rückverfolgbarkeit der Produktionsergebnisse bzw. Korrelation der Wavinesswerte mit weiteren Prozessparametern und Stabilisierung der Produktqualität möglich.

[0057] Außerdem ergibt sich ein Vorteil für eine Auditierung, insbesondere hinsichtlich von ISO-Standards, denn mittels der Erfindung kann erstmals eines der wesentlichsten Qualitätsmerkmale von Displayglas, nämlich die quantitative Angabe der Waviness vollständig kontrolliert und erfasst werden.

[0058] Bevorzugt sind die optische Meßanordnung und die Einrichtung zur quantitativen Berechnung der Lage und Höhe der Verformungen so ausgestaltet, daß Deformationen mit einer Meßunsicherheit von weniger als 50 Nanometern, vorzugsweise weniger als 20 Nanometern, besonders bevorzugt von weniger als 10 Nanometern erfaßt werden. Gemäß noch einer Weiterbildung werden noch lokale Deformationen mit einer Brechkraft kleiner als 60 Millidioptrien, bevorzugt kleiner als 40 Millidioptrien erfaßt und vermessen. Vorzugsweise ist die Vorrichtung weiterhin eingerichtet für eine Erfassung und quantitative Bestimmung von lokalen Verformungen der Oberfläche des Flachglas-Substrats mit einer Höhe oder Tiefe bis 500 µm.

[0059] In weiterer bevorzugter Ausgestaltung wird eine quantitative Bestimmung der Höhe lokaler Verformungen durch eine Kalibration an Proben mit definierter oder bekannter Krümmung durchgeführt. Dazu wird anhand der Wechselwirkung, wie insbesondere einer Ablenkung von Lichtstrahlen an derartigen Proben mit definierter oder bekannter Krümmung die quantitative Bestimmung der Höhe von lokalen Verformungen kalibriert. Insbesondere kann die quantitative Ermittlung der Höhe von Verformungen mittels der Messung der Wechselwirkung von Lichtstrahlen an den lokalen Verformungen der Oberfläche anhand von Proben mittels eines berührenden Tastschnitt-Verfahrens kalibriert werden.

[0060] Im folgenden wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen und unter Bezugnahme auf die Zeichnungen näher erläutert, wobei gleiche und ähnliche Elemente mit gleichen Bezugszeichen versehen sind und die Merkmale verschiedener Ausführungsbeispiele miteinander kombiniert werden können.

nen.

[0061] Es zeigen:

[0062] [Fig. 1](#) eine Skizze zur Ablenkung von Lichtstrahlen bei dem Meßverfahren der Laserdeflektion,

[0063] [Fig. 2](#) ein Prinzipbild eines Meßverfahrens zur Erfassung lokaler Deformationen mittels der Veränderung eines Moiré-Musters,

[0064] [Fig. 3](#) ein Prinzipbild zur Erfassung mittels Streifenprojektion,

[0065] [Fig. 4](#) ein erstes Ausführungsbeispiel einer Vorrichtung zur Durchführung einer Moiré-Messung,

[0066] [Fig. 5](#) und [Fig. 6](#) zwei Ausführungsbeispiele, bei welchen lokale Verformungen anhand der Ablenkung von Lichtstrahlen in zwei unterschiedlichen Richtungen entlang der Oberfläche des Flachglas-Substrats erfasst werden,

[0067] [Fig. 7](#) ein Ausführungsbeispiel einer Vorrichtung, bei welcher das Flachglas-Substrat mit einem Laser-Fächerstrahl abgetastet wird,

[0068] [Fig. 8](#) eine Aufnahme eines Brechkraft-Profils eines Glasbands,

[0069] [Fig. 9](#) eine Erläuterung einer Ausführungsform, bei welcher die Lageschwerpunkts-Änderungen von auf einem Sensor abgebildeten Leuchtdioden mittels Differenzsignalbildung der Signale alternierend betriebener Leuchtdioden erfasst wird.

[0070] Im folgenden werden zunächst prinzipielle Detektionsmechanismen für die Ziehstreifigkeit, insbesondere der Waviness erläutert, die unter anderem auch als Meßverfahren zur Messung der Ablenkung von Lichtstrahlen an derartigen lokalen Verformungen geeignet sind.

[0071] Ziehstreifen sind allgemein lokale Schwankungen der optischen Dicke (d. h. des Brechungsindex n und/oder der Dicke d) des Glases quer zur Ziehrichtung. Folgende Prinzipien sind zur Detektion prinzipiell einsetzbar:

A) Interferometrie

[0072] Dieses Verfahren und eine entsprechende Vorrichtung basieren darauf, daß die Veränderung der Phasenlage der Wellenfront eines an lokalen Verformungen mit dem Substrat wechselwirkenden Lichtstrahls erfasst wird. Eine ebene einfallende Wellenfront wird durch ein Phasenobjekt – wie eine Dünnglasscheibe mit einem nichtebenen optischen Dickenprofil – beim Durchgang durch dieses Objekt entsprechend verändert oder verzerrt. Diese Pha-

senverzerrung wird durch ein bildgebendes Interferometer quantitativ erfasst und durch entsprechende Software visualisiert. Die erreichbaren Genauigkeiten liegen im Subnanometerbereich, wofür allerdings ein beträchtlicher Aufwand nötig ist und die Streifen-dichte der Ziehstreifigkeit nicht so hoch sein darf.

B) Deflektion

[0073] In [Fig. 1](#) ist das Prinzip für die Erfassung lokaler Verformungen der Oberfläche eines Prüfkörpers, wie etwa eines Flachglas-Substrats mittels Laserdeflektion skizziert. An den Inhomogenitäten der optischen Dicke des Flachglas-Substrats **1** mit Seiten **10**, **11** werden Lichtstrahlen **5** beim Durchgang durch das Material aus ihrer ursprünglichen (beispielsweise zur Oberfläche senkrechten) Richtung abgelenkt, so daß die austretenden Lichtstrahlen **6** eine von der Einfallrichtung abweichende Richtung aufweisen. Mittels einer nicht dargestellten optischen Meßeinrichtung wird die Strahlablenkung als Funktion des Probenorts bestimmt. Die Variation des Einstrahlorts und die anschließende Detektion wird durch komplizierte Scananordnungen oder durch den Einsatz von Arrays von Punktquellen erreicht. Die erzielbaren Ortsauflösungen liegen dabei im Submillimeterbereich. Allerdings ist dieses Verfahren sehr oberflächensensitiv. Dies bedeutet, dass unter realen Bedingungen Fehlmessungen durch Staubpartikel verursacht werden können. Das Verfahren arbeitet mit im allgemeinen mit Laserlichtquellen, die wegen der anzustrebenden kurzen Messzeit mindestens in der Laserschutzklasse III oder sogar in der Klasse IV anzusiedeln sind.

C) Moiré-Verfahren

[0074] Bei diesem besonders bevorzugten Verfahren wird die Tatsache ausgenutzt, dass durch die inhomogene optische Dicke des Prüfkörpers eine Verzerrung periodischer Strukturen eintritt, die durch den Prüfkörper hindurch oder als von der Oberfläche des Prüfkörpers reflektiertes Spiegelbild beobachtet werden. Diese periodische Struktur ist bei diesen Verfahren ein Moiré-Muster, das durch ein Transmissionsgitter und beispielsweise die Pixellierung einer (oder mehrerer) CCD Zeilenkameras gebildet wird. Dieses Moiré-Muster wird durch den Prüfkörper deformiert und diese Verformung durch Methoden (Phasenschiebeverfahren), wie sie in der Interferometrie zur Streifenauswertung verwendet werden, in quantitativer Weise ausgewertet. Demgemäß werden lokale Verformungen der Oberfläche des Flachglas-Substrats optisch durch die Veränderung eines Moiré-Musters erfaßt und deren Lage und Höhe quantitativ bestimmt. Die laterale Ortsauflösung (vorzugsweise im Submillimeterbereich) ist unter anderem durch die Zahl der Kamerabildpunkte und den Abbildungsmaßstab bestimmt.

[0075] [Fig. 2](#) zeigt dazu ein Prinzipbild des Meßverfahrens. G1 und G2 bezeichnen dabei zwei Gitter. Das Moiré-Muster ergibt sich aus deren Überlagerung. Im oberen Teilbild in [Fig. 2](#) zeigt die Interferenzstruktur aus der Projektion des unverzerrten Gitters G2 auf das Referenzgitter G1 (Leermessung); das untere Teilbild zeigt den Einfluss einer Verzerrung des Gitterbilds G2 durch eine sich zwischen den Gittern befindende inhomogene Glasscheibe **1**. Durch die Welligkeit des Substrats und die damit verbundene Ablenkung der vom ersten Gitter ausgehenden Lichtstrahlen kommt es zu einer Veränderung des Moiré-Musters gegenüber einem ungestörten Durchgang.

[0076] Durch die Verwendung von Mehrkamerasystemen lassen sich im Prinzip beliebig große Inspektionsfelder erzeugen. Die Überlappung der Ergebnisse kann dann in einem Rechnerverbund vorgenommen werden. Eine quantitative Messgröße, die letztlich ein Maß für die lokalen Schwankungen der optischen Dicke des Prüfkörpers bildet, ist die äquivalente Brechkraft einer Linse mit gleicher Oberflächenkrümmung wie die lokale Krümmung des Prüfkörpers. Da die realen Krümmungen auf einer Dünn-glasprobe als Funktion des Probenorts in Breitenrichtung variieren, ergibt sich bei der Messung ein Verlauf oder ein Brechkraftprofil.

[0077] Eine Kalibrierlinse mit konstanter Krümmung erzeugt daher eine konstante Messkurve als Funktion des Ortes. Der Messbereich der Brechkraft wird durch die Periode des Moiré-Musters begrenzt, die auf das jeweilige Messproblem adaptierbar ist.

[0078] Da keine bewegten Teile im Messverfahren notwendig sind, ist die Messzeit zur Aufnahme eines Brechkraftprofils sehr klein und liegt im Bereich einiger Millisekunden. Dies versetzt das Meßsystem in die Lage, zusätzlich zur Bestimmung der Ziehstreifigkeit auch eine Fehlersuche im Produkt durchzuführen. Dazu werden direkt nacheinander aufgenommene Brechkraftprofile miteinander verglichen und Veränderungen, die über einer bestimmten Schwelle liegen, als Fehler markiert und angezeigt.

[0079] Die Schwellen müssen in mehreren Optimierungsschleifen in der laufenden Produktion ermittelt und angepasst werden, um eine adäquate Klassifizierung durchführen zu können. Es müssen keine kohärenten Laserquellen verwendet werden, daher muß auch die optische Meßanordnung keiner einschränkenden Schutzklasse bezüglich Lasersicherheit unterliegen.

D) Schrägbeleuchtung

[0080] Eine visuelle, bisher nur qualitativ eingesetzte Methode zur Ziehstreifenbestimmung ist das Verfahren der Schrägbeleuchtung. Erfindungsgemäß

wird für eine quantitative Bestimmung des Flachglas-Substrats mit einer punktförmigen oder streifenförmigen Lichtquelle unter schrägem Lichteinfall beleuchtet und die örtliche Intensitätsverteilung des transmittierten oder reflektierten Lichts erfasst und ausgewertet.

[0081] Dabei wird eine möglichst intensive Punktlichtquelle **15**, meist eine Xenonhochdruckentladungslampe als Lichtquelle verwendet. In einem bestimmten Abstand, der wegen der Vergleichbarkeit der Ergebnisse festgelegt ist, befindet sich der Prüfkörper, beispielsweise das Flachglas-Substrat **1**, das vom Licht durchstrahlt wird. Dahinter befindet sich ein optischer ortsauflösender Detektor **16** als Einrichtung zur Erfassung der örtlichen Intensitätsverteilung des reflektierten, oder wie bei dem in [Fig. 3](#) gezeigten Beispiel transmittierten Lichts.

[0082] Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung können auch parallel mehrere Paare von Lichtquellen und optischen ortsauflösenden Detektoren **16** eingesetzt werden, welche eine Erfassung des Substrats unter jeweils unterschiedlichen Winkeln ermöglichen.

[0083] Das Verfahren nutzt die Linsenwirkung der lokalen Oberflächenkrümmungen. Eine lokal konvexe Form wirkt als Sammellinse, was bedeutet, dass der Detektor dort, wo die durch eine derartige Verformung gebrochenen Lichtstrahlen auftreffen, eine höhere Intensität mißt. Dunklere Stellen, beziehungsweise niedrigere Intensitäten entstehen entsprechend durch lokal konkave Oberflächenkrümmungen.

[0084] Zur Steigerung der Empfindlichkeit kann das Substrat **1** drehbar gelagert sein, so dass die Flächennormale gegen die optische Achse der Beleuchtung unterschiedlich geneigt werden kann. Dadurch wird die Strukturhöhe durch die Änderung des Projektionswinkels größer und die optische Wirkung besser sichtbar als etwa bei senkrechtem oder steilerem Lichteinfall.

[0085] [Fig. 4](#) zeigt ein erstes Ausführungsbeispiel einer Vorrichtung **3** zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Bestimmung der Waviness von Flachglas-Substraten, wobei optisch und berührungsfrei die Wechselwirkung von Lichtstrahlen an lokalen Verformungen der Oberfläche des Flachglas-Substrats **1** erfasst und anhand der erfassten Wechselwirkung oder wenigstens einer sich daraus ergebenden Meßgröße die Lage und Höhe der lokalen Verformungen quantitativ bestimmt werden. Im speziellen ist die Vorrichtung zur Erfassung der Verformungen mittels eines Moiré-Verfahrens ausgebildet, bei welchem die lokalen Verformungen der Oberfläche des Flachglas-Substrats **1** optisch durch die Veränderung eines Moiré-Musters erfasst und deren

Lage und Höhe quantitativ bestimmt werden. Das Moiré-Muster wird dabei durch Abbildung eines ersten Rasters **20** auf die Pixel einer Zeilenkamera **25** erzeugt. Das Flachglas-Substrat **1** wird dabei entlang einer Vorschubrichtung **17** durch die Vorrichtung **3**, beziehungsweise deren optischer Meßanordnung hindurchbewegt. Bei dem Flachglas-Substrat kann es sich auch um ein kontinuierliches Glasband **2** aus einem kontinuierlichen Heißformungsprozeß, beispielsweise einem Float-, Overflow-Fusion- oder Downdraw-Prozeß handeln.

[0086] Parallel zu einer Seite des Flachglas-Substrats **1** ist ein eindimensionales Raster **20** angeordnet. Der Begriff "eindimensional" kennzeichnet dabei im Sinne der Erfindung die Anzahl der Modulationsrichtungen des Rasters, bei einem eindimensionalen Raster dementsprechend ein in einer Richtung moduliertes Raster. Gegenüberliegend ist eine Zeilenkamera **25** angeordnet, wobei das Raster **20** auf die Kamerapixel abgebildet wird. Vorzugsweise wird das Substrat dabei zumindest entlang seiner Nutzbreite, vorzugsweise entlang seiner gesamten Breite vermessen, wozu ein entsprechend langes Raster **20** verwendet wird, welches sich zumindest über die gesamte Nutzbreite erstreckt. Die Kamera **25** ist ebenfalls so ausgebildet, daß das Substrat **1** entlang seiner gesamten Breite B von den Kamerapixeln erfasst wird.

[0087] Das Moiré-Muster entsteht dabei durch die Überlagerung der Abbildung des Rasters **20** auf die entlang der gleichen Richtung wie die Modulationsrichtung des Rasters angeordneten Pixel. Das Raster **20** und die Kamera **25** erstrecken sich parallel zueinander in einer Richtung quer zur Vorschubrichtung **17**, hier insbesondere senkrecht dazu. Durch diese Anordnung werden die lokalen Verformungen anhand der Ablenkung von Lichtstrahlen in einer Richtung entlang der Oberfläche des Flachglas-Substrats parallel zur Modulationsrichtung des Rasters, also schräg zur Vorschubrichtung erfasst. Mit dieser Anordnung kann bei einem kontinuierlichen Glasband insbesondere die Waviness aufgrund produktionsbedingter Ziehstreifigkeit erfasst werden, bei welcher sich entlang der Ziehrichtung langgestreckte Wellen ausbilden. Damit werden bereits die meisten für die Waviness relevanten Strukturen bei solchen Glassubstraten, insbesondere bei kontinuierlichen Glasbändern **2** erfasst.

[0088] Diese Anordnung ist allerdings nicht empfindlich auf Strukturen mit einem Krümmungsvektor, welcher senkrecht zur Vorschubrichtung liegt.

[0089] Wird auch eine Detektion solcher Strukturen benötigt, so kann eine zweite Messung mit verdrehter Vorschubrichtung vorgenommen werden. Bei einem Glasband ist dies jedoch nicht praktikabel. Auch bei vereinzelt Flachglas-Substraten **1** verlängert sich

dabei die Meßzeit.

[0090] Die [Fig. 5](#) und [Fig. 6](#) zeigen zwei Ausführungsbeispiele, bei welchen lokale Verformungen anhand der Ablenkung von Lichtstrahlen in zwei unterschiedlichen Richtungen entlang der Oberfläche des Flachglas-Substrats erfasst werden. Diese Vorrichtungen können demgemäß bereits mit einem einmaligen Durchschieben entlang der Vorschubrichtung eine vollständige Messung der Waviness durchführen. Das in [Fig. 5](#) dargestellte Ausführungsbeispiel ist in Aufsicht dargestellt. Im Unterschied zu dem in [Fig. 4](#) gezeigten Beispiel werden hier zwei Raster **20**, **21** und zwei Zeilenkameras **25**, **26** verwendet. Auch hier sind die Raster **20**, **21** gegenüberliegend zu den Kameras **25**, **26** angeordnet, so daß das von den Rastern **20**, **21** ausgehende Licht durch das Substrat **1** transmittiert wird, bevor es auf die Kamerapixel trifft. Die beiden Raster **20**, **21** und die zugeordneten Kameras **25**, **26** sind in unterschiedlichen Richtungen entlang der Oberfläche des Substrats angeordnet. Durch die Kombination der Messungen von beiden Kameras können damit Verformungen in beliebiger Richtung erfasst werden.

[0091] Bei dem in [Fig. 6](#) gezeigten Beispiel wird anstelle eines oder mehrere eindimensionaler Raster und Zeilenkameras eine Matrixkamera **27** in Verbindung mit einem zweidimensionalen Raster **23** eingesetzt, um eine besonders schnelle Erfassung von Verformungen zu ermöglichen.

[0092] Auch bei den in den [Fig. 5](#) und [Fig. 6](#) gezeigten Beispielen sind die Raster **20**, **21**, beziehungsweise **23** jeweils so bemessen und angeordnet, daß sie sich zumindest entlang der Nutzbreite, vorzugsweise entlang seiner gesamten Breite erstrecken. Die Kameras **25**, **26**, beziehungsweise **27** sind dann so eingerichtet, daß jeweils das gesamte Raster entlang der Nutzbreite erfasst wird.

[0093] In [Fig. 7](#) ist eine Vorrichtung **3** zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Bestimmung der Waviness von Flachglas-Substraten dargestellt, bei welcher die Ablenkung eines das Flachglas-Substrat **1** abtastenden Laserstrahls an lokalen Deformationen der Oberfläche des Flachglas-Substrats **1** erfasst wird. Im speziellen wird dabei das Flachglas-Substrat **1** mit einem zu einem Fächerstrahl **31** aufgeweiteten Laserstrahl abgetastet, während das Flachglas-Substrat **1** entlang der Vorschubrichtung **17** bewegt wird. Der Fächerstrahl wird von einer entsprechend ausgebildeten Fächerstrahl-Lichtquelle **30** erzeugt, tritt aus deren Lichtaustrittsöffnung **34** aus und beleuchtet einen sich quer zur Vorschubrichtung **17** erstreckenden streifenförmigen Bereich **32** auf der Oberfläche des Flachglas-Substrats **1**. Die Beleuchtung erfolgt unter schrägem Lichteinfall. Die Erfassung der Ablenkung von durch das Flachglas-Substrat **1** transmittierten

Teilstrahlen des Fächerstrahls **32** erfolgt mittels einer ortsempfindlichen Zeilenkamera **25**. Diese ist unter der Seite des Substrats **1** angeordnet, aus welcher die durch das Substrat **1** transmittierten Strahlen austreten.

[0094] Ebenfalls möglich ist beispielsweise auch eine Anordnung mit einem Reflektor anstelle der Detektors **25**. Der Reflektor reflektiert dann die Lichtstrahlen in Lichteinfallrichtung zurück. In diesem Fall können Zeilenkameras ober- und unterhalb der Lichtaustrittsöffnung **34** angeordnet sein und durch lokale Deformationen abgelenkte Lichtstrahlen erfassen. Eine Zusatzmessung in Reflexion ist ebenfalls möglich.

[0095] In [Fig. 8](#) ist ein Ausschnitt eines von einem Glasband **2** aufgenommenen Brechkraft-Profils dargestellt. Das Glasband wurde mit einem Moiré-Verfahren, wie es anhand der [Fig. 2](#) und einer Vorrichtung, wie sie [Fig. 4](#) prinzipiell zeigt, vermessen. Entsprechend dem eindimensionalen Raster, welches sich quer zur Vorschubrichtung erstreckt, wird nur eine Ablenkung von Lichtstrahlen in dieser Richtung, also durch Verformungen mit einer Krümmungsvektor-Komponente senkrecht zur Vorschubrichtung erfasst. Gerade bei einem kontinuierlichen Glasband, wie es beispielsweise durch einen Float-Prozeß erhalten wird, sind die wesentlichen Verformungen aber gerade langgestreckte Ziehstreifen entlang der Vorschubrichtung **17**, die dementsprechend in Richtung senkrecht dazu gekrümmt sind und durch eine wie in [Fig. 4](#) gezeigte Anordnung erfasst werden. Erhöhte Brechkraftwerte sind in [Fig. 8](#) dunkel dargestellt. Die Ziehstreifen zeigen sich dementsprechend bei der in [Fig. 8](#) gezeigten Darstellung als dunkle Streifen entlang der Vorschubrichtung.

[0096] Die Waviness kann schließlich mittels einer Einrichtung zur Berechnung der quantitativen Lage und Höhe der lokalen Verformungen aus dieser Meßgröße erhalten werden, welche eine zweifache Integration dieser Meßwerte über die Ortskoordinate quer zur Vorschubrichtung durchführt. Wird nicht nur die Brechkraft, sondern direkt die Ablenkung der Lichtstrahlen anhand der Veränderung des Moiré-Musters erfasst, kann die Waviness bereits mittels einer einfachen Integration dieser Meßwerte berechnet werden.

[0097] [Fig. 9](#) zeigt eine Erläuterung einer Ausführungsform, bei welcher die Lageschwerpunkts-Änderungen von auf einem Sensor abgebildeten Leuchtdioden mittels Differenzsignalbildung der Signale alternierend betriebener Leuchtdioden erfasst wird. Die Leuchtdioden **39** sind in einer oder mehreren Reihen angeordnet und werden in zwei Gruppen **41**, **42** untergliedert. Die zu einer der Gruppen **41**, **42** gehörenden Leuchtdioden sind jeweils gleichartig schraffiert. Die Leuchtdioden der Gruppen **41**, **42** sind, wie an-

hand von [Fig. 9](#) deutlich wird, alternierend angeordnet, so daß eine Leuchtdiode einer Gruppe jeweils Leuchtdioden der anderen Gruppe als nächste Nachbarn hat. Die beiden Gruppen werden außerdem zeitlich alternierend betrieben. Auf dem Sensor, auf welchem die Leuchtdioden abgebildet werden, werden Intensitätssignale **43** erfasst, die in [Fig. 9](#) als Balken dargestellt sind, wobei die Intensität der Signale durch die Höhe der Balken wiedergegeben ist. Die Schraffur der Balken entspricht der Schraffur der Leuchtdioden **39** und gibt wieder, zu welcher Gruppe der alternierend betriebenen Leuchtdioden das gemessene Intensitätssignal auf einem Pixel gehört.

[0098] Befindet sich kein Glasfehler zwischen Beleuchtung und Kamera, werden die Intensitäten der Leuchtdioden der beiden Gruppen **41**, **42** gleich hell registriert. Im Falle eines durchlaufenden Partikels werden beide Signale gleichmäßig geschwächt. Auch in diesem Fall verschwindet das Differenzsignal. Durchläuft aber ein ablenkender Fehler – wie die in [Fig. 9](#) dargestellte Welle **45** die Kamerasichtlinie wird je nach Linsenwirkung des Defekts Licht vom einen in den anderen Intensitätskanal gelenkt, so daß Differenzsignale, bei dem in [Fig. 9](#) gezeigten Beispiel die Differenzsignale ΔI_1 , ΔI_2 auftreten. Betrachtet man immer das Differenzsignal, ist sichergestellt, daß reale Fehler von Partikeln unterschieden werden können. Durch Integration der Differenzsignale über den Meßort kann dann nicht nur die Ablenkung, sondern auch die Lage und Höhe der Verformung, hier also der Welle **45** ermittelt werden.

[0099] Es ist dem Fachmann ersichtlich, dass die Erfindung nicht auf die vorstehend beschriebenen beispielhaften Ausführungsformen beschränkt ist, sondern vielmehr in vielfältiger Weise variiert werden kann. Insbesondere können die Merkmale der einzelnen Ausführungsbeispiele auch miteinander kombiniert werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung der Waviness von Flachglas-Substraten, bei welchem optisch und berührungsfrei die Ablenkung von durch das Substrat transmittierten Lichtstrahlen an lokalen Verformungen der Oberfläche des Flachglas-Substrats erfasst und anhand der erfassten Ablenkung oder wenigstens einer sich daraus ergebenden Meßgröße die Lage und Höhe der lokalen Verformungen quantitativ bestimmt werden, wobei zur Berechnung der Lage und Höhe der lokalen Verformungen die Ablenkungswerte oder sich daraus ableitende Größen über den Meßort integriert werden.

2. Verfahren gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß mit der Integration Höhenprofil-Werte der Oberfläche errechnet werden.

3. Verfahren gemäß Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die laterale Ausdehnung lokaler Verformungen quantitativ bestimmt wird.

4. Verfahren gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Maximalhöhe einer lokalen Verformung quantitativ bestimmt wird.

5. Verfahren gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß mit der Integration Höhenprofil-Werte entlang einer Richtung errechnet und Differenzen des Maximal- zu den Minimalwerten beidseitig des Maximalwerts der Höhenprofilwerte jeweils innerhalb einer Vielzahl von unterschiedlichen Ortsbereichen vorgegebener gleicher Größe bestimmt werden, daraus jeweils die Differenz des Maximalwerts zum Mittel der Minimalwerte bestimmt und daraus der Maximalwert dieser so bestimmten Differenzen ermittelt wird.

6. Verfahren gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Wechselwirkung von vom Substrat reflektierten Lichtstrahlen erfasst wird.

7. Verfahren gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Lage und Höhe von Verformungen anhand Ortsfrequenzgewichteter Meßwerte bestimmt wird.

8. Verfahren gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßwerte oder die sich aus der Messung ergebenden Meßgrößen mit einer Filterfunktion gefaltet werden.

9. Verfahren gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßwerte oder die sich aus der Messung ergebenden Meßgrößen mit einer Filterfunktion gefiltert werden, deren Maximum im Bereich von 0,25 bis 25 Millimetern liegt.

10. Verfahren gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßwerte oder die sich aus der Messung ergebenden Meßgrößen mit einem Filter mit den Eckfrequenzen 0.8 mm bis 8 mm und 50% Transmission gefiltert werden.

11. Verfahren gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die optische Meßanordnung zur Messung der Wechselwirkung von Lichtstrahlen eine wichtende Filterwirkung auf die Meßwerte bewirkt.

12. Verfahren gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß aufgenommene Meßwerte oder Meßgrößen separat bezüglich ihrer Ortsfrequenz gefiltert werden.

13. Verfahren gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßwerte oder sich daraus ergebende Meßgrößen mit einer 2RC-Filterung gefiltert werden.

14. Verfahren gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßwerte oder sich daraus ergebende Meßgrößen mit einem Gauß-Filter gefiltert werden.

15. Verfahren gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßwerte oder sich daraus ergebende Meßgrößen mit einem phasenkorrekten Filter gefiltert werden.

16. Verfahren gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß lokale Verformungen der Oberfläche des Flachglas-Substrats optisch durch die Veränderung eines Moiré-Musters erfaßt und deren Lage und Höhe quantitativ bestimmt werden.

17. Verfahren gemäß Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß ein Moiré-Muster durch Abbildung eines Rasters auf die Pixel einer Kamera erzeugt wird.

18. Verfahren gemäß Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß ein Moiré-Muster von der Kamera aufgenommen wird, welches sich aus der Überlagerung der beiden Rasterbilder eines ersten Rasters und eines zweiten, der Kamera vorgeschalteten und dem Flachglas-Substrat im Strahlengang nachgeschalteten Rasters ergibt.

19. Verfahren gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß lokale Verformungen anhand der Ablenkung von Lichtstrahlen in zwei unterschiedlichen Richtungen entlang der Oberfläche des Flachglas-Substrats erfaßt werden.

20. Verfahren gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß lokale Verformungen anhand der Veränderung eines zweidimensionalen Moiré-Musters aus der Überlagerung zweier Raster erfaßt werden, wobei von einem ersten Raster ausgehende Lichtstrahlen vor der Abbildung auf das zweite Raster mit dem Flachglas-Substrat Wechselwirken.

21. Verfahren gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß lokale Verformungen anhand der Ablenkung von Lichtstrahlen in einer Richtung entlang der Oberfläche des Flachglas-Substrats erfaßt werden, welche schräg zur Vorschubrichtung liegt.

22. Verfahren gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß Verformungen anhand der Veränderung von Moiré-Mustern

zweier eindimensionaler Raster erfaßt werden, welche in einem Winkel zueinander stehen.

23. Verfahren gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest zwei senkrecht zur ihrer Modulationsrichtung beabstandete Raster von einer Kamera erfaßt werden, auf deren Pixel die Raster abgebildet werden, wobei sowohl Verformungen mit einem Krümmungsvektor, der eine Komponente entlang der Modulationsrichtung aufweist, als auch Verformungen mit Krümmungsvektor-Komponenten senkrecht dazu erfaßt werden.

24. Verfahren gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß eine optische und berührungsfreie Bestimmung der Waviness eines kontinuierlichen Flachglas-Bands aus einem kontinuierlichen Heißformungsprozeß, insbesondere einem Float- oder Overflow-Fusion-Prozeß durchgeführt wird.

25. Verfahren gemäß Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßergebnisse aus der Messung lokaler Verformungen in den Heißformungsprozeß des Glasbands rückgekoppelt werden.

26. Verfahren gemäß Anspruch 24 oder 25, dadurch gekennzeichnet, daß durch Zerteilung des Glasbands anhand der gewonnenen Daten zumindest zwei Gruppen von Flachglas-Substraten, die unterschiedliche Maximal- oder Durchschnittswerte der Feinwelligkeit aufweisen, hergestellt werden.

27. Verfahren gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß eine Differenzmessung eingesetzt wird, um Wechselwirkungen von Lichtstrahlen an lokalen Verformungen der Oberfläche des Flachglas-Substrats zu detektieren.

28. Verfahren gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Ablenkung zumindest eines das Flachglas-Substrat abtastenden Laserstrahls an lokalen Deformationen der Oberfläche erfaßt wird.

29. Verfahren gemäß Anspruch 28, dadurch gekennzeichnet, daß das Flachglas-Substrat mit zumindest einem Fächerstrahl abgetastet wird.

30. Verfahren gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Veränderung der Phasenlage der Wellenfront eines an lokalen Verformungen mit dem Substrat wechselwirkenden Lichtstrahls erfaßt wird.

31. Verfahren gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Flachglas-Substrat mit einer punktförmigen oder streifenförmigen Lichtquelle unter schrägem Lichteinfall be-

leuchtet und die örtliche Intensitätsverteilung des transmittierten oder reflektierten Lichts erfasst und ausgewertet wird.

32. Verfahren gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß Deformationen mit einer Meßunsicherheit von weniger als 50 Nanometern, vorzugsweise weniger als 20 Nanometern, besonders bevorzugt von weniger als 10 Nanometern erfaßt werden.

33. Verfahren gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß durch Messung der Wechselwirkung von Lichtstrahlen an Proben mit definierter Krümmung die quantitative Bestimmung der Höhe von lokalen Verformungen kalibriert wird.

34. Verfahren gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die quantitative Ermittlung der Höhe mittels der Messung der Wechselwirkung von Lichtstrahlen an lokalen Verformungen der Oberfläche anhand von Proben mittels eines berührenden Tastschnitt-Verfahrens kalibriert wird.

35. Verfahren gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß den Flachglas-Substraten ein Datensatz mit den gewonnenen Daten über lokale Verformungen insbesondere kundenseitig verfügbar beigelegt oder zugeordnet wird.

36. Verfahren gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß noch lokale Deformationen mit einer Brechkraft kleiner als 60 Millidioptrien, bevorzugt kleiner als 40 Millidioptrien erfaßt und vermessen werden.

37. Verfahren gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Flachglas-Substrat gleichzeitig zumindest entlang seiner Nutzbreite, vorzugsweise entlang seiner gesamten Breite vermessen wird.

38. Verfahren gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest 30% einer Charge der Flachglas-Substrate oder der Fläche eines kontinuierlichen Glasbands überprüft wird.

39. Verfahren gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß lokale Verformungen mit einer Höhe bis 500 µm erfasst werden.

40. Verfahren gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Lage-schwerpunkts-Änderung von auf einem Sensor abgebildeten Lichtpunkten, vorzugsweise von einer Leuchtdioden-Anordnung durch die Ablenkung der

Lichtstrahlen von den Lichtquellen aufgrund der optischen Wirkung von Gestaltabweichungen des Substrats erfasst wird.

41. Verfahren gemäß dem vorstehenden Anspruch, wobei eine Differenzmessung der Signale zumindest zweier Gruppen von Lichtpunkten vorgenommen wird.

42. Vorrichtung zur Bestimmung der Waviness von Flachglas-Substraten, umfassend eine optische Meßanordnung mit einer Einrichtung zur Beleuchtung des Flachglas-Substrats mit Lichtstrahlen und einer Einrichtung zur Erfassung der Ablenkung von durch das Substrat transmittierten Lichtstrahlen an lokalen Verformungen der Oberfläche des Flachglas-Substrats oder sich aus der Ablenkung ergebenden Größen, sowie einer Einrichtung zur Berechnung der quantitativen Lage und Höhe der lokalen Verformungen aus dieser Meßgröße anhand einer von der Einrichtung durchführbaren Integration der Ablenkungswerte oder sich daraus ergebender Größen über den Meßort.

43. Vorrichtung gemäß Anspruch 42, dadurch gekennzeichnet, daß mit der Integration Höhenprofil-Werte der Oberfläche durch die Einrichtung zur Berechnung der quantitativen Lage und Höhe der lokalen Verformungen errechnet werden.

44. Vorrichtung gemäß Anspruch 43, dadurch gekennzeichnet, daß die Einrichtung zur Berechnung der quantitativen Lage und Höhe der lokalen Verformungen Höhenprofil-Werte entlang einer Richtung mittels Integration der Ablenkungswerte errechnet und Differenzen des Maximal- zu den Minimalwerten beidseitig des Maximalwerts der Höhenprofilwerte jeweils innerhalb einer Vielzahl von unterschiedlichen Ortsbereichen vorgegebener gleicher Größe bestimmt, daraus die jeweils die Differenz des Maximalwerts zum Mittel der Minimalwerte bestimmt und daraus der Maximalwert dieser so bestimmten Differenzen ermittelt.

45. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 42 bis 44, gekennzeichnet durch eine Einrichtung zur quantitativen Bestimmung der lateralen Ausdehnung lokaler Verformungen.

46. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 43 bis 45, gekennzeichnet durch eine Einrichtung zur Bestimmung der Maximalhöhe einer lokalen Verformung.

47. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 42 bis 46, gekennzeichnet durch eine optische Meßanordnung zur Messung der Wechselwirkung von vom Substrat reflektierten Lichtstrahlen.

48. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 42

bis 47, gekennzeichnet durch eine Einrichtung zur Bestimmung der Lage und Höhe von Verformungen anhand Ortsfrequenzgewichteter Meßwerte.

49. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 42 bis 48, gekennzeichnet durch eine Einrichtung zur Filterung der Meßwerte oder der sich aus der Messung ergebenden Meßgrößen mit einer Filterfunktion.

50. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 42 bis 49, gekennzeichnet durch eine Einrichtung zur Filterung der Meßwerte oder der sich aus der Messung ergebenden Meßgrößen mit einer Filterfunktion, deren Maximum im Bereich von 0,25 bis 10 Millimetern liegt.

51. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 42 bis 50, gekennzeichnet durch eine optische Meßanordnung zur Messung der Ablenkung von Lichtstrahlen, welche eine wichtige Filterwirkung auf die Meßwerte bewirkt.

52. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 42 bis 51, gekennzeichnet durch eine Einrichtung zur separaten Filterung bereits aufgenommener Meßwerte bezüglich ihrer Ortsfrequenz.

53. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 42 bis 52, gekennzeichnet durch eine Einrichtung zur 2RC-Filterung der Meßwerte oder sich daraus ergebender Meßgrößen.

54. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 42 bis 53, gekennzeichnet durch eine Einrichtung zur Gauß-Filterung der Meßwerte oder sich daraus ergebender Meßgrößen.

55. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 42 bis 54, gekennzeichnet durch eine Einrichtung zur phasenkorrekten Filterung der Meßwerte oder sich daraus ergebender Meßgrößen.

56. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 42 bis 55, gekennzeichnet durch eine optische Meßanordnung mit zumindest einem ersten Raster und zumindest einer Kamera zur Aufnahme des Rasters, sowie einer Einrichtung zur Anordnung eines Flachglas-Substrats derart, daß dieses im Strahlengang zwischen dem ersten Raster und der Kamera liegt, und einer an die Kamera angeschlossene Auswerteeinrichtung, mit welcher lokale Verformungen des Flachglas-Substrats erfaßt und deren Lage und Höhe quantitativ bestimmt werden.

57. Vorrichtung gemäß dem vorstehenden Anspruch, gekennzeichnet durch ein Raster, welches der Kamera vorgeschaltet und einem im Strahlengang anordenbaren Flachglas-Substrat nachgeschaltet ist.

58. Vorrichtung gemäß einem der beiden vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das erste Raster passiv beleuchtet ist.

59. Vorrichtung gemäß Anspruch 56 oder 57, dadurch gekennzeichnet, daß das erste Raster selbstleuchtend ist.

60. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 56 bis 59, dadurch gekennzeichnet, daß die Kamerapixel ein zweites Raster bilden, wobei das Moiré-Muster aus der Abbildung des ersten Rasters auf die Kamerapixel resultiert.

61. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 42 bis 60, gekennzeichnet durch zwei eindimensionale Raster, welche in einem Winkel zueinander stehen.

62. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 42 bis 61, gekennzeichnet durch zumindest zwei Raster, wobei die Einrichtung zur Erfassung zumindest einer sich aus der Ablenkung der Lichtstrahlen an lokalen Verformungen der Oberfläche des Flachglas-Substrats ergebenden Meßgröße eine Einrichtung zur abwechselnden Erfassung der beiden Raster umfaßt.

63. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 42 bis 62, dadurch gekennzeichnet, daß die optische Meßanordnung zwei senkrecht zu ihrer Modulationsrichtung beabstandete Raster und eine Kamera umfaßt, auf deren Pixel die Raster abgebildet werden.

64. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 42 bis 63, dadurch gekennzeichnet, daß die optische Meßanordnung ein zweidimensionales Raster und eine Einrichtung zur Erfassung eines zweidimensionalen Moiré-Musters aus der Überlagerung der Abbildung des ersten Rasters über mit dem Flachglas-Substrat wechselwirkenden Lichtstrahlen mit einem zweiten Raster umfaßt.

65. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 42 bis 64, dadurch gekennzeichnet, daß die Einrichtung zur Erfassung zumindest einer sich aus der Wechselwirkung der Lichtstrahlen an lokalen Verformungen der Oberfläche des Flachglas-Substrats ergebenden Meßgröße eine Einrichtung zur Differenzmessung von Lichtsignalen umfaßt.

66. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 42 bis 65, dadurch gekennzeichnet, daß die optische Meßanordnung eine Laser-Abtast-Einrichtung und eine Einrichtung zur Erfassung der Ablenkung des abtastenden Laserstrahls an lokalen Deformationen der Oberfläche umfaßt.

67. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 42 bis 66, dadurch gekennzeichnet, daß die optische Meßanordnung eine punkt- oder linienförmige Lichtquelle, welche ein zu vermessendes Flachglas-Sub-

strat unter schrägem Lichteinfall beleuchtet, sowie eine Einrichtung zur Erfassung der örtlichen Intensitätsverteilung des transmittierten Lichts umfasst.

68. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 42 bis 67, dadurch gekennzeichnet, daß die optische Meßanordnung zur Erfassung der Ablenkung von Lichtstrahlen in zwei unterschiedlichen Richtungen entlang der Oberfläche des Flachglas-Substrats eingerichtet ist.

69. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 42 bis 68, dadurch gekennzeichnet, daß die optische Meßanordnung zumindest eine Zeilenkamera umfaßt.

70. Vorrichtung gemäß Anspruch 66, dadurch gekennzeichnet, daß die Laser-Abtast-Einrichtung einen Fächerstrahl-Laser umfaßt.

71. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 42 bis 70, dadurch gekennzeichnet, daß die optische Meßanordnung eine Einrichtung zur Erfassung der Veränderung der Phasenlage der Wellenfront eines an lokalen Verformungen mit dem Substrat wechselwirkenden Lichtstrahls umfaßt.

72. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 42 bis 71, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorrichtung zur Bestimmung der Waviness eines Flachglas-Substrats in Form eines kontinuierlichen Glasbands aus einem kontinuierlichen Heißformungsprozeß, insbesondere aus einem Floatglas- oder Overflow-Fusion-Prozeß ausgebildet ist.

73. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 42 bis 72, gekennzeichnet durch eine Einrichtung zur Zuordnung von Datensätzen mit gewonnenen Daten über lokale Verformungen zu den Flachglas-Substraten.

74. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 42 bis 73, eingerichtet für eine Erfassung und quantitative Bestimmung von lokalen Verformungen der Oberfläche des Flachglas-Substrats mit einer Höhe oder Tiefe bis 500 µm.

75. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 42 bis 74, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorrichtung eingerichtet ist die Lageschwerpunkts-Änderung von auf einem Sensor abgebildeten Lichtpunkten, vorzugsweise von einer Leuchtdioden-Anordnung durch die Ablenkung der Lichtstrahlen von den Lichtquellen aufgrund der optischen Wirkung von Gestaltabweichungen des Substrats zu erfassen.

76. Vorrichtung gemäß dem vorstehenden Anspruch, gekennzeichnet durch eine Beleuchtungseinrichtung mit zumindest zwei Gruppen von Lichtpunkten, sowie einer Einrichtung zur Differenzmessung

der Signale der zumindest zwei Gruppen von Lichtpunkten.

77. Vorrichtung zur Herstellung von Flachglas-Substraten, umfassend eine Vorrichtung zur Herstellung eines kontinuierlichen Glasbands, sowie eine Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 42 bis 76 zur Bestimmung der Waviness des Glasbands oder davon abgetrennter Flachglas-Substrate.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

Fig. 1

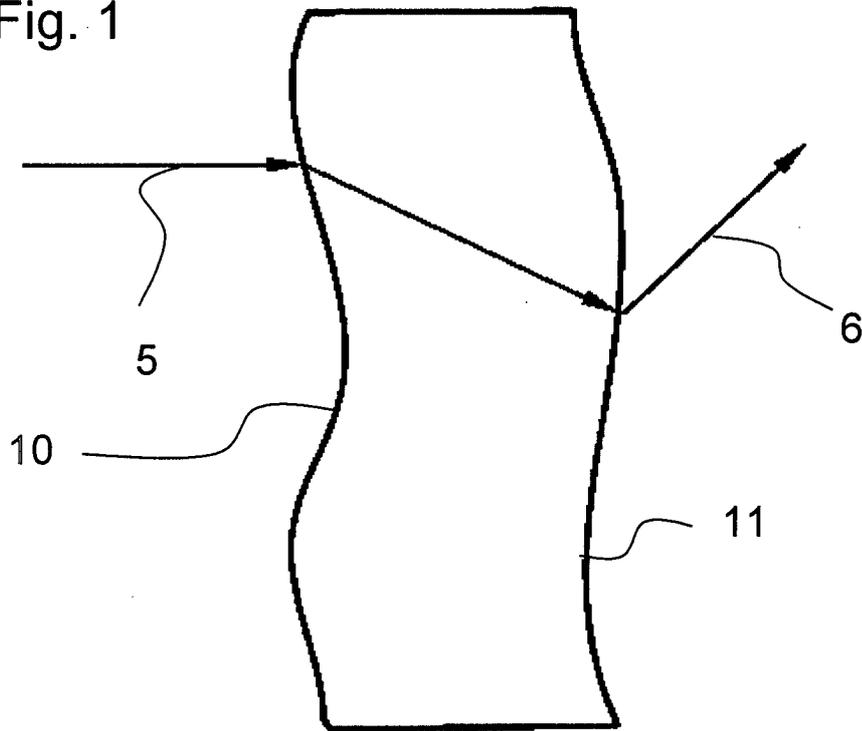


Fig. 2

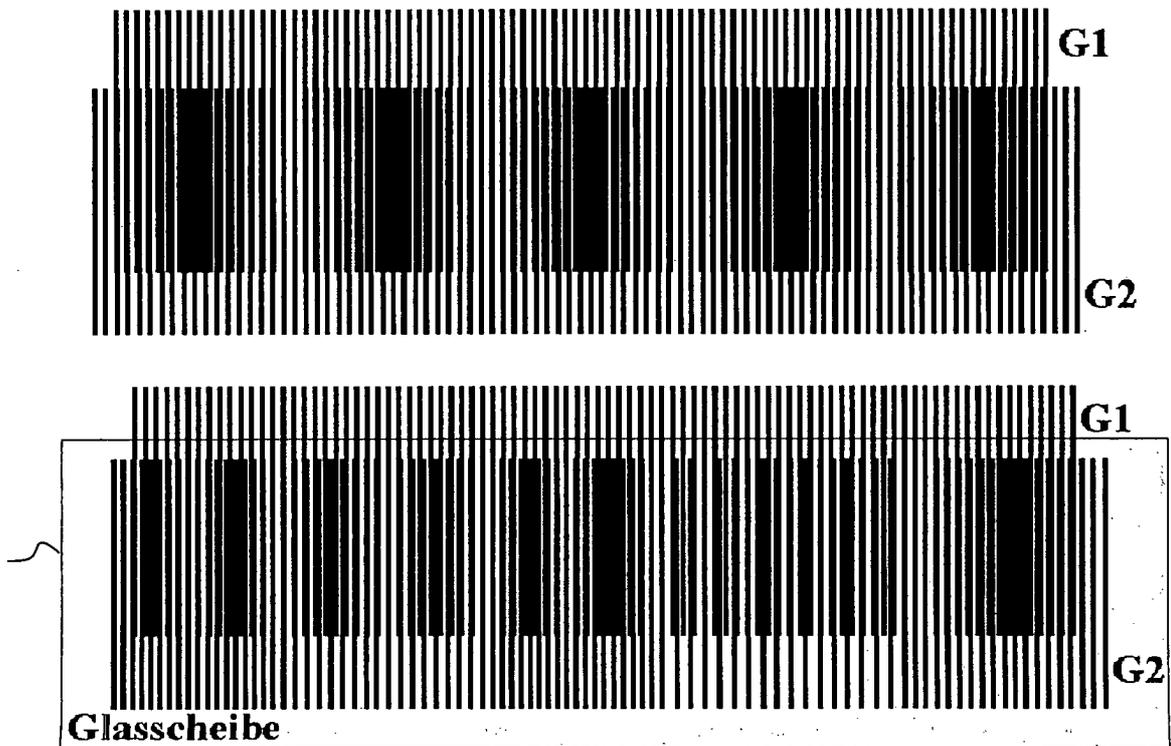


Fig. 3

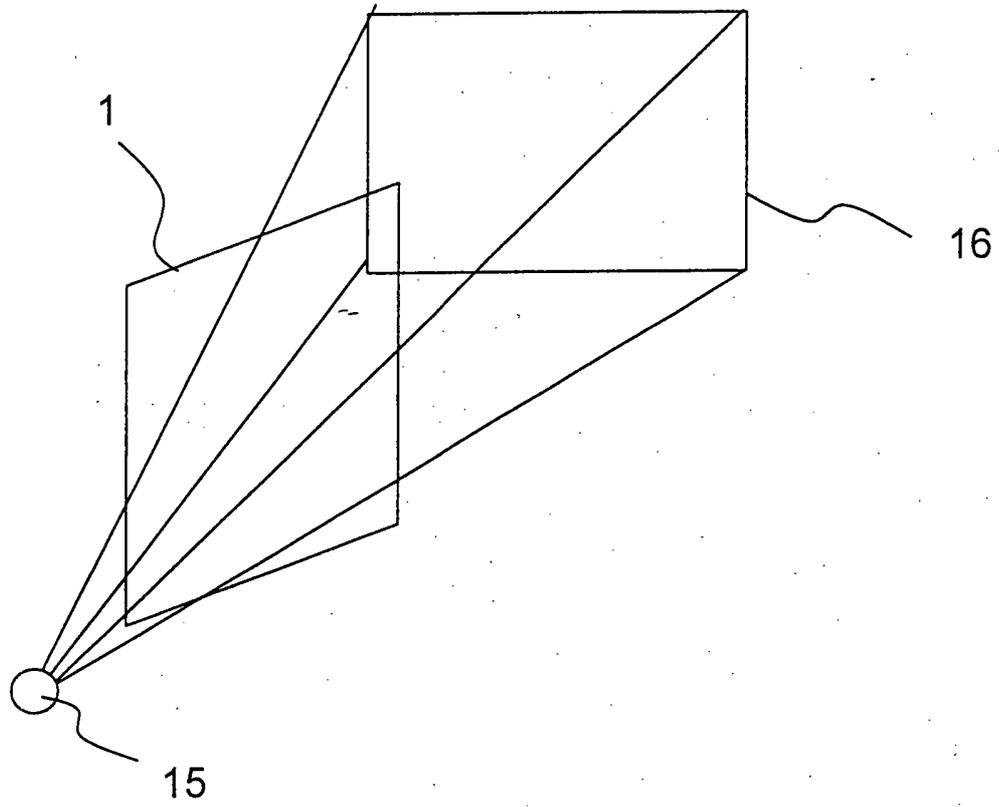


Fig. 4

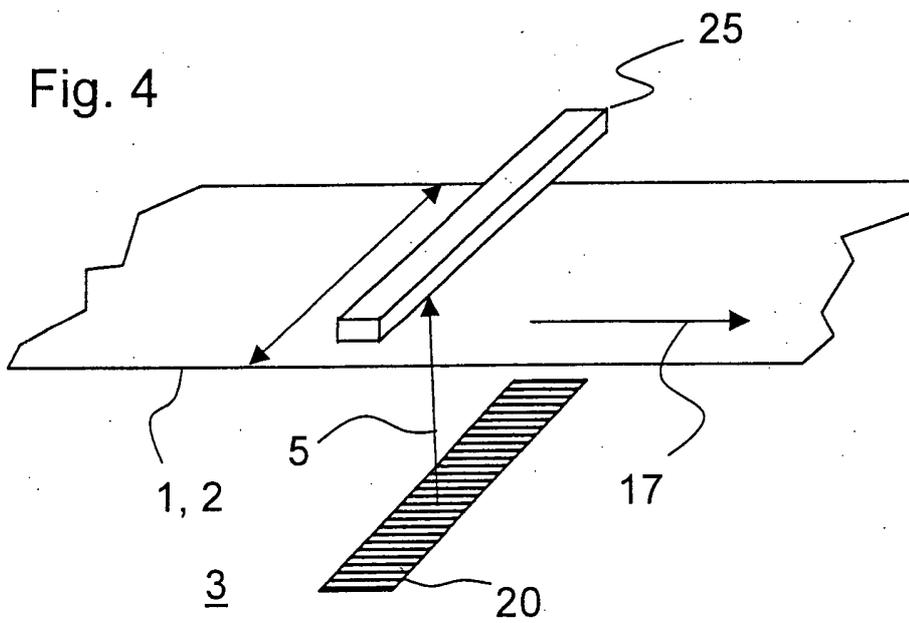


Fig. 5

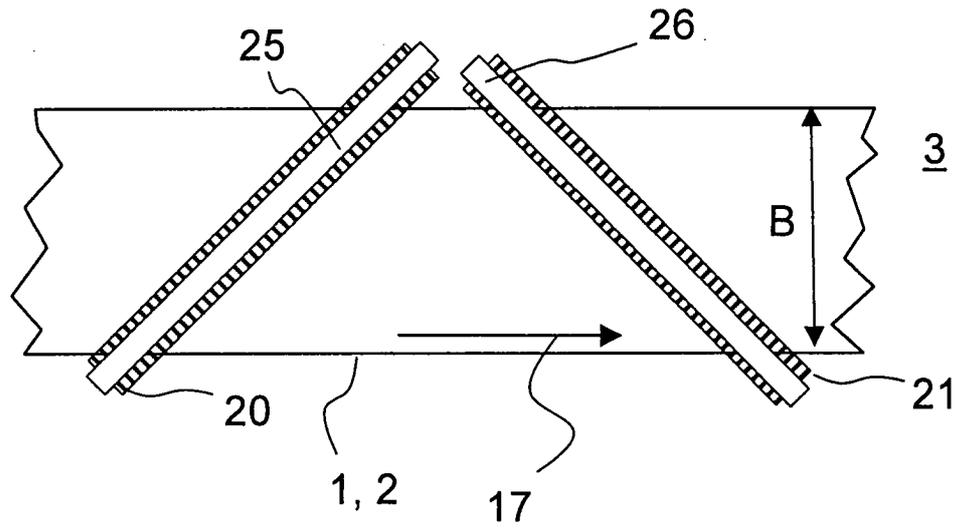


Fig. 6

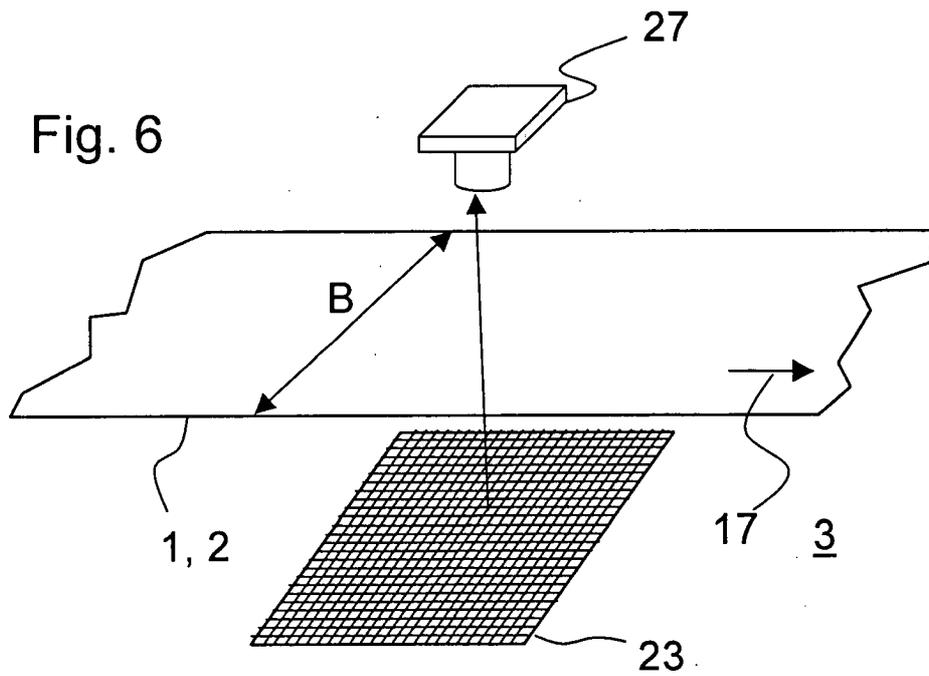


Fig. 7

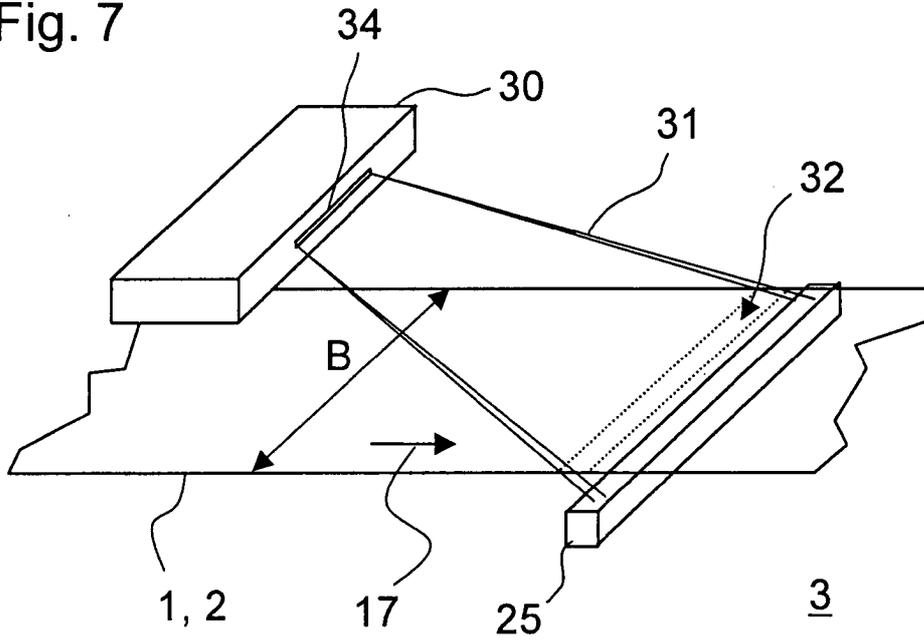


Fig. 8

