

19



LE GOUVERNEMENT
DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG
Ministère de l'Économie

11

N° de publication :

LU504045

12

BREVET D'INVENTION

B1

21

N° de dépôt: LU504045

51

Int. Cl.:
G01N 21/896, G01B 11/24, G01B 11/30, G01N 21/958,
G01N 21/88

22

Date de dépôt: 24/04/2023

30

Priorité:

72

Inventeur(s):
VOGEL Kai – Allemagne, SANDNER Andreas –
Allemagne

43

Date de mise à disposition du public: 24/10/2024

74

Mandataire(s):
HABERMANN INTELLECTUAL PROPERTY
PARTNERSCHAFT VON PATENTANWÄLTEN MBB –
64293 Darmstadt (Allemagne)

47

Date de délivrance: 24/10/2024

73

Titulaire(s):
VIPROTRON GMBH – 64319 Pfungstadt (Allemagne)

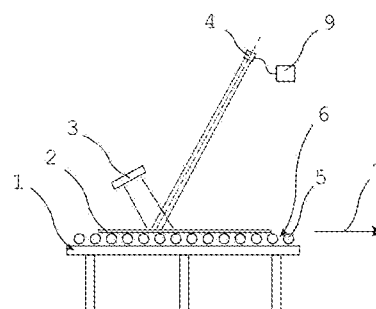
54

Messung von Oberflächenverformungen auf Glasoberflächen.

57

Die Erfindung betrifft ein Messverfahren und eine Messvorrichtung zur Bestimmung der Ebenheit einer transparenten Scheibe (2). Mittels einer Transportvorrichtung (1) wird die Scheibe (2) relativ zu einer Beleuchtungseinrichtung (3) und einer Kamera (4) oder die Beleuchtungseinrichtung (3) und die Kamera (4) relativ zu der Scheibe in einer Transportrichtung (7) verlagert. Mit der Beleuchtungseinrichtung (3) wird ein Lichtmuster (8) bestehend aus mehreren zweidimensionalen Lichtmustermerkmalen auf die Scheibe (2) projiziert. Die mehreren Lichtmustermerkmale werden nebeneinander in einer senkrecht zu der Transportrichtung (7) orientierten Querachse auf die Scheibe (2) projiziert. Das durch die Scheibe (2) reflektierte Lichtmuster (8) wird zumindest teilweise mit der Kamera (4) erfasst. Ein Geometrieparameter der durch die Kamera (4) aufgezeichneten Lichtmustermerkmale wird bestimmt. Die durch die Reflexionen an der Scheibe (2) hervorgerufene Veränderung des Geometrieparameters eines oder mehrerer Lichtmustermerkmale wird anhand mehrerer nacheinander von der Kamera (4) erfasster Bilder ausgewertet. Die Kamera (4) ist als Zeilenkamera ausgestaltet.

FIG 1



Viprotron GmbH

Messung von Oberflächenverformungen auf Glasoberflächen

5

Die Erfindung betrifft ein Messverfahren und eine Messvorrichtung zur Bestimmung der Ebenheit einer transparenten Scheibe, wobei mittels einer

10 Transportvorrichtung die Scheibe relativ zu einer Beleuchtungseinrichtung und einer Kamera oder die Beleuchtungseinrichtung und die Kamera relativ zu der Scheibe in einer Transportrichtung verlagert wird, wobei mit der Beleuchtungseinrichtung ein Lichtmuster bestehend aus

15 mehreren zweidimensionalen Lichtmustermerkmalen auf die Scheibe projiziert wird, wobei die mehreren Lichtmustermerkmale nebeneinander in einer senkrecht zu der Transportrichtung orientierten Querachse auf die Scheibe projiziert werden, wobei das durch die Scheibe reflektierte

20 Lichtmuster zumindest teilweise mit der Kamera erfasst wird, wobei ein Geometrieparameter der durch die Kamera aufgezeichneten Lichtmustermerkmale bestimmt wird, und durch Auswertung mehrerer nacheinander von der Kamera erfasster Bilder eine durch die Reflexionen an der Scheibe

25 hervorgerufene Veränderung des Geometrieparameters eines oder mehrerer Lichtmustermerkmale ausgewertet wird.

Optische Verzerrungen können durch Reflexion von Lichtstrahlen an Oberflächenverformungen an der

30 Scheibenoberfläche hervorgerufen werden. Diese Oberflächenverformungen sind häufig durch den Temperprozess bei der Veredelung der Glasscheibe verursacht. Wenn

Glasscheiben vorgespannt oder gegläht werden, werden diese mittels einer Fördereinrichtung durch einen beheizten Ofen transportiert, in dem diese auf eine kritische Temperatur erhitzt werden, bei der innere Spannungen abgebaut werden.

- 5 Das gleichmäßige Erreichen der kritischen Temperatur ist bei der in der Regel großflächigen Glasscheiben ohne ein Erweichen der Glasscheibe herausfordernd. Typischerweise erreicht die Glasscheibe lokal einen Erweichungspunkt, bei dem sich das Glas in einem verformbaren Zustand befindet. Bei
- 10 dem Herstellungsprozess liegt die Glasscheibe in der Regel auf einer Vielzahl von hitzebeständigen Keramikrollen der Fördereinrichtung auf und wird so durch den Ofen transportiert. Durch die auf die Glasscheibe wirkende Schwerkraft verformt sich die lokal erweichte Glasscheibe.
- 15 Dabei entstehen ein Verzug oder eine Verformung der Glasscheibe durch ein schwerkraftverursachtes Durchhängen der Glasscheibe in dem Zwischenraum zwischen zwei Transportrollen. Bei einer hohen Vorheiztemperatur innerhalb des Ofens ist der Durchhang größer ausgeprägt, was sich
- 20 entsprechend in dem Oberflächenprofil der Glasscheibe und in Reflexionseigenschaften bemerkbar macht. Der Durchhang auf der Glasscheibe entlang der Transportrichtung ist in der Regel zyklisch ausgeprägt. Dabei ist die Periode von Hochpunkten gegenüber Tiefpunkten wird unter anderem durch
- 25 den Abstand zwischen benachbarten Transportrollen und durch die Konzentrizität der Transportrollen beeinflusst.

Wenn die Glasscheibe auf einer unrunder Transportrolle abrollt, werden die Hochpunkte und Tiefpunkte periodisch in

30 die Glasscheibe eingeprägt. Diese in eine Glasscheibe eingebrachten Hochpunkte und Tiefpunkte sind bei der Verwendung einer Glasscheibe beispielsweise unter Vorspannung

deutlich sichtbar. Die durch den Durchhang zwischen den Walzen oder durch eine unrunde Walze verursachten Verformungen neigen dazu, zyklischer Natur zu sein und einen Welleneffekt in der Glasscheibe zu erzeugen.

5

Neben den in Längsrichtung in die Glasscheibe eingepprägten Hochpunkte und Tiefpunkte, die als zyklische Wellenstruktur sichtbar sind, ist auch eine lokale Verzerrung über eine zu der Längsrichtung parallelen Querachse in der Glasscheibe

10 erkennbar.

In der Patentschrift US 7,345,698 B2 werden ein Messverfahren und eine Messvorrichtung zum Erkennen und Messen der optischen Verzerrung in Glasscheiben offenbart. Bei dem

15 Messverfahren wird eine optische Vergrößerung eines reflektierten kreisförmigen Lichtmustermerkmals mittels einer Kamera erfasst. Dazu wird eine Vielzahl von kreisförmigen Lichtmustermerkmalen auf das Glas projiziert und als Ellipsen reflektiert, die die lokalen Oberflächenkonturen abbilden.

20 Verzerrungen in der Glasoberfläche werden als lokale Vergrößerung oder Verkleinerung an der elliptischen Achse gemessen. Der Winkel und die Größe der Neben- und Hauptachse der reflektierten Ellipsen liefern Daten zur Abbildung des Oberflächenprofils des Glases. Dieses Verfahren eignet sich
25 nicht, um mehrere verschiedene Oberflächen einer Glasscheibe zu vermessen, da sich die Bilder an mehreren Oberflächen reflektierten Lichtmustermerkmale überlappen und es damit nicht möglich ist, zuverlässig zu unterscheiden, welcher Teil der Reflexion von welcher Oberfläche stammt. Insbesondere
30 enthält das reflektierte Bild nicht eine einzelne Form jeder einzelnen Oberfläche, sondern ein zusammengesetztes Bild aus der kombinierten Mehrfachreflexionen an den Oberflächen.

Dadurch ist eine von den jeweiligen reflektierenden Oberflächen getrennte Auswertung der Verzerrung nicht möglich.

5 In der Patentschrift US 10,161,879 B1 ist eine Weiterentwicklung der oben beschriebenen Vorrichtung und des oben beschriebenen Verfahrens aus der Druckschrift US 7,345,698 B2 beschrieben. Das in der Patentschrift US 10,161,879 B1 offenbarte Verfahren und die offenbarte
10 Vorrichtung dienen zum Messen des Oberflächenprofils und der optischen Reflexionsstärke einer oder mehrerer Oberflächen von transparenten Glasscheiben. Dabei werden eine Vielzahl von kreisrunden Lichtmustermerkmalen auf die Glasoberfläche projiziert, wobei die Lichtmustermerkmale nicht gefüllt auf
15 die Glasoberfläche projiziert werden, sondern aus einer Umrandung bestehen. Dadurch kann bei einer Überlappung der von den mehreren Glasoberflächen reflektierten Bildern eine Auswertung der Verzerrung getrennt voneinander erfolgen, sodass die ermittelte Verzerrung eines Lichtmustermerkmals
20 der jeweiligen Glasoberfläche zugeordnet werden kann.

Bei den beschriebenen und bekannten Messverfahren und Messvorrichtungen ist die Kamera so positioniert und ausgerichtet, dass die auf die Scheibe projizierten
25 Lichtmustermerkmale vollständig durch die Kamera erfasst werden. Nur so ist die Auswertung der Vergrößerung oder Verkleinerung der Haupt- oder Nebenachsen der reflektierten Ellipsen möglich. Dies setzt den Einsatz von Flächenkameras voraus, um den Bereich der Scheibe zu erfassen, in denen die
30 Lichtmustermerkmale projiziert sind.

Als Aufgabe der vorliegenden Erfindung wird es angesehen, ein Messverfahren bereitzustellen, mit dem eine einfache und genaue Vermessung der Verzerrung der Glasscheibe während des Herstellungsprozesses der Glasscheibe möglich ist.

5

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass eine Umfangslinie der Lichtmustermerkmale jeweils durch einen Polygonzug gebildet wird, der mehrere geradlinig verlaufende Polygonzuabschnitte aufweist, wobei einander zugewandte

10 Polygonzugabschnitte benachbarter Lichtmustermerkmale nicht parallel zueinander ausgerichtet sind. Durch die Projektion derartiger Lichtmustermerkmale mit bekannten Abmessungen kann der oder können die Geometrieparameter einfach bestimmt werden. Dadurch, dass sich die Merkmalsabstände zweier
15 benachbarter Lichtmustermerkmale zumindest abschnittsweise über deren gesamte Ausdehnung in der Transportrichtung voneinander unterscheiden, können die Geometrieparameter zuverlässig aus mit der Kamera erfassten Ausschnitten des Lichtmusters erfasst werden, sodass in der Transportrichtung
20 nicht das gesamte Lichtmuster erfasst bzw. ausgewertet werden muss.

Vorteilhafterweise ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass jeweils unmittelbar nebeneinander auf die Scheibe projizierte
25 Lichtmustermerkmale so ausgestaltet und angeordnet sind, dass sich sämtliche senkrecht zu der Transportrichtung bestimmte Merkmalsabstände zwischen einander zugewandten Außenkonturen der unmittelbar nebeneinander projizierten

Lichtmustermerkmale voneinander unterscheiden. Dadurch, dass
30 sich die Merkmalsabstände zweier benachbarter Lichtmustermerkmale über deren gesamte Ausdehnung in der Transportrichtung voneinander unterscheiden, können die

Geometrieparameter auch zuverlässig aus mit der Kamera
erfassten Ausschnitten des Lichtmusters erfasst werden,
sodass in der Transportrichtung nicht das gesamte Lichtmuster
erfasst bzw. ausgewertet werden muss. Das Lichtmuster kann
5 beispielsweise aus trapezförmigen Lichtmustermerkmalen
gebildet werden. Es ist auch möglich und erfindungsgemäß
vorgesehen, dass das Lichtmuster aus parallelogrammförmigen
Lichtmustermerkmalen gebildet wird, wobei sich ein
Neigungswinkel unmittelbar benachbart zueinander auf die
10 Scheibe projizierter Lichtmustermerkmale voneinander
unterscheidet.

Besonders vorteilhafterweise ist vorgesehen, dass das
Lichtmuster aus dreieckigen Lichtmustermerkmalen gebildet
15 wird. Durch die Projektion von dreieckigen
Lichtmustermerkmalen mit bekannten Abmessungen kann die
Bestimmung eines Geometrieparameters besonders einfach
erfolgen. Beispielsweise ist durch eine Referenzmessung und
durch Auswertung eines mit der Kamera aufgezeichneten Bildes
20 eine Länge einer Dreiecksseite bestimmbar. Auch ist die
Bildposition des auf einem Bildsensor der Kamera
auftreffenden reflektierten Lichtmustermerkmals auswertbar.

Vorteilhafterweise kann es dazu vorgesehen sein, dass die
25 Lichtmustermerkmale so auf die Scheibe projiziert werden,
dass eine Seite jedes Lichtmustermerkmals wie beispielsweise
eine Dreiecksseite vollständig innerhalb des durch die Kamera
erfassten Aufnahmebereichs liegt und somit vollständig
erfasst wird. Bei einer Relativbewegung der Scheibe zu der
30 Kamera und zu der Beleuchtungseinrichtung in
Transportrichtung wird der Geometrieparameter, hier als eine
Länge einer Seite des mit der Kamera aufgezeichneten

Lichtmustermerkmals wie beispielsweise des Dreiecks, aufgrund der Oberflächenverformung der Scheibe verändert. Durch die Bestimmung der veränderten Länge und bei bekannter Positionierung der Kamera und der Beleuchtungseinrichtung
5 relativ zu der Scheibe, ist die Größe der Oberflächenverformung der Scheibe bestimmbar. Dabei kann die Oberflächenverformung als eine Krümmung der Scheibe ausgebildet sein oder als eine wellenförmige durch den Herstellungsprozess bedingte zyklische Wellenstruktur in
10 Transportrichtung der Scheibe sichtbar sein.

Vorteilhafterweise ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass die Lichtmustermerkmale aus mehreren in der Transportrichtung hintereinander angeordneten und aneinander angrenzenden
15 trapezförmigen Lichtmustermerkmalteilen gebildet wird.

Durch die Verwendung trapezförmiger Lichtmustermerkmale oder trapezförmiger Lichtmustermerkmalteile kann ein minimaler Abstand senkrecht zur Transportrichtung einander
20 gegenüberliegender Polygonzugabschnitte einfach vorgegeben werden. Durch die Vorgabe eines Mindestabstands können die einzelnen Polygonzugabschnitte in dem Kamerabild sicher voneinander differenziert werden. Dabei ist der Mindestabstand vorteilhafterweise an eine maximale Dicke der
25 zu vermessenden Scheibe angepasst, um die Polygonabschnitte in dem Kamerabild voneinander unterschieden zu können, die einmal durch die Reflektion des Lichtmusters an der Scheibenoberseite und einmal an der Scheibenunterseite erzeugt und von der Kamera erfasst werden. Durch die
30 Verwendung mehrerer trapezförmiger Lichtmustermerkmalteile kann der Messbereich einfach vergrößert werden, ohne dabei die räumliche Auflösung zu verschlechtern.

Vorteilhafterweise ist es erfindungsgemäß optional vorgesehen, dass die Beleuchtungseinrichtung und die Kamera in einem gleichen Winkel zur Scheibe ausgerichtet sind, sodass die auf der Scheibe reflektierten Lichtmustermerkmale senkrecht in die Kamera einfallen. Somit kann eine Auswertung der mit der Kamera aufgezeichneten Bilder besonders einfach erfolgen, da eine aufwändige Korrektur von durch einen schrägen Einfall der Lichtmustermerkmale in die Kamera erzeugten verzerrten Bildern nicht notwendig ist.

Vorteilhafterweise werden zur Erfassung besonders breiter Lichtmustermerkmale mehrere nebeneinander angeordnete bzw. auf nebeneinander liegende Lichtmustermerkmalsabschnitte ausgerichtete Kameras verwendet.

Durch die in der Scheibe enthaltenen Oberflächenverformung hervorgerufene Änderung des Auftreffwinkels der Lichtstrahlen zu der Scheibe oder die Änderung des Abstrahlwinkels der reflektierten Lichtstrahlen zu der Scheibe, treffen die Lichtstrahlen in unterschiedlichen Positionen auf dem Bildsensor der verwendeten Kamera auf. Bei Verwendung einer Zeilenkamera oder bei der Auswertung lediglich einzelner Bildzeilen einer Flächenkamera werden durch die Oberflächenverformung daher unterschiedliche Bereiche des Lichtmusters betrachtet, sodass sich erfasste Abmessungen benachbarter Lichtmustermerkmale voneinander unterscheiden und sich einzelne erfasste Abmessungen auch von Referenzabmessungen unterscheiden. Durch Auswertung der Position des reflektierten Lichtmustermerkmals bzw. der Abweichung der Abmessungen der Lichtmustermerkmale bzw. der

Lichtmustermerkmalausschnitte kann die Oberflächenverformung der Scheibe bestimmt werden.

Es ist erfindungsgemäß auch vorgesehen, dass das
5 Lichtmustermerkmal als ein gleichschenkliges und
spitzwinkliges Dreieck ausgestaltet ist. Bei Verwendung eines
Lichtmustermerkmals in Form eines Dreiecks mit bekannten
Seitenlängen und Innenwinkeln kann bei einem Schnitt durch
das dreieckige Lichtmustermerkmal ein zwischen den Seiten des
10 Dreiecks bestimmter Abstand auf einer Verlagerung oder eine
Verdrehung der Scheibe bestimmt werden.

Außerdem kann eine Verzerrung des Lichtmustermerkmals in
Transportrichtung und entlang der Querachse voneinander
15 getrennt ausgewertet werden. Die in Transportrichtung durch
die Oberflächenverformung der Scheibe hervorgerufene
Verzerrung des Lichtmustermerkmals ist durch eine in Form der
zyklischen und wellenartigen Änderung der Breite des
dreieckigen Lichtmustermerkmals auswertbar.

20

In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist
vorgesehen, dass der Geometrieparameter einen Abstand
zwischen zwei Schnittpunkten beschreibt, wobei die
Schnittpunkte durch einen Schnitt einer Schnittgeraden mit
25 zwei Seiten des Lichtmustermerkmals erzeugt werden. Dadurch,
dass die Abmessungen der Lichtmustermerkmale in einer
Referenzmessung auf einer Referenzoberfläche bestimmbar sind,
kann eine Veränderung des Abstands zur Bestimmung der
Oberflächenverformung der Scheibe genutzt werden. Die
30 Schnittgerade entspricht dabei dem durch die Kamera
aufgezeichneten streifenförmigen Aufnahmebereich.

Damit die anhand der Lichtmustermerkmale beschriebenen Geometrieparameter besonders genau bestimmbar sind, ist in einer vorteilhaften Ausgestaltung des Erfindungsgedankens vorgesehen, dass die Lichtmustermerkmale ausgefüllt

5 ausgestaltet sind. Bei Verwendung von voneinander beabstandeten Lichtmustermerkmalen kann somit ein besonders kontrastreicher und damit scharfer Übergang zwischen dem auf der Scheibe projizierten Lichtmustermerkmal und einem zu dem Lichtmustermerkmal benachbarten Bereich aufgezeichnet werden.
10 Damit kann die lokalen Oberflächenverformung besonders gut bestimmt werden.

Durch die Ausfüllung beispielsweise dreieckiger Lichtmustermerkmale kann ein besonders großer Kontrast
15 zwischen einem mit dem Lichtmustermerkmal beleuchteten hellen Bereich der Scheibe und einem unbeleuchteten Bereich der Scheibe oder zwischen benachbart zueinander angeordneten Lichtmustermerkmalen nur schwach beleuchteten dunklen Bereichen erzeugt werden. Dadurch können Übergänge zwischen
20 dem Lichtmustermerkmal und dem unbeleuchteten Bereich besonders genau und reproduzierbar bestimmt werden.

Vorteilhafterweise ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass in der Transportrichtung vor und/oder hinter dem Lichtmuster ein
25 Lichtband auf die Scheibe projiziert wird. Auf diese Weise kann automatisiert ermittelt werden, dass die Kamera und der Projektor so ausgerichtet sind, dass der maximale Messbereich verlassen wurde.

30 Dabei kann erfindungsgemäß vorgesehen sein, dass das Lichtband unmittelbar an das Lichtmuster angrenzt, sodass die Lichtmustermerkmale und das Lichtband ineinander übergehen.

Vorteilhafterweise ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass dunkle Bereiche zwischen benachbart zueinander angeordneten Lichtmustermerkmalen des Lichtmusters ebenfalls von der Beleuchtungseinrichtung beleuchtet werden, wobei eine Beleuchtungsintensität der dunklen Bereich geringer ist als die Beleuchtungsintensität heller Bereiche des Lichtmusters. Auf diese Weise kann auch in den dunklen Bereichen noch zwischen Glasoberfläche und Fläche ohne Glas differenziert werden, um beispielsweise Glaskanten oder Positionen von Bohrlöchern identifizieren zu können.

Zur Projektion des Lichtmusters weist die Beleuchtungsvorrichtung vorteilhafterweise eine Projektionslampe und ein in einem Projektionsbereich der Projektionslampe angeordnetes Lichtmustererelement auf. Bei dem Lichtmustererelement kann es sich beispielsweise um eine Folie handeln, die durchscheinende und nicht- bzw. schwachdurchscheinende Bereiche aufweist. Durch die Beleuchtung der zwischen der Projektionslampe und der Scheibe angeordneten Folie mit der Projektionslampe wird das Lichtmuster erzeugt. Um auch die dunklen Bereiche schwach zu beleuchten, können die schwachdurchscheinenden Bereiche eine geringe Transparenz aufweisen.

Vorteilhafterweise ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass die Beleuchtungsintensität der dunklen Bereiche maximal 10%, vorteilhafterweise maximal 5% und besonders vorteilhafterweise maximal 2% der Beleuchtungsintensität der hellen Bereiche beträgt.

Um die Messgenauigkeit bei der Verwendung mehrerer
Lichtmustermerkmalteile weiter zu erhöhen ist erfindungsgemäß
vorgesehen, dass sich Beleuchtungsintensitäten der
Lichtmustermerkmalteile eines Lichtmustermerkmals voneinander
5 unterscheiden. Auf diese Weise kann auch bei Verwendung
beispielsweise einer Zeilenkamera bestimmt werden, welcher
Bereich des Lichtmusters betrachtet wird.

Um die Ebenheit der Scheibe über eine gesamte Breite der
10 Scheibe erfassen zu können, ist in einer vorteilhaften
Umsetzung des Erfindungsgedankens vorgesehen, dass in einem
mit der Kamera aufgezeichneten Bild ein streifenförmiger
Aufnahmebereich der Scheibe erfasst wird, wobei der
streifenförmige Aufnahmebereich parallel zu der Querachse
15 orientiert ist und die Scheibe entlang der Querachse
vollständig erfasst wird.

Um eine besonders genaue Bestimmung der Ebenheit entlang der
Querachse der Scheibe durchführen zu können, ist in einer
20 vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung vorgesehen, dass
die dreieckigen Lichtmustermerkmale so orientiert sind, dass
Spitzen der Lichtmustermerkmale in oder entgegen der
Transportrichtung weisen. Des Weiteren kann es
erfindungsgemäß auch vorgesehen sein, dass die Grundseite
25 eines als gleichschenkliges Dreieck ausgestalteten
Lichtmustermerkmals parallel zu der Querachse orientiert ist.
Somit kann die durch die Beleuchtungseinrichtung erzeugte
Beleuchtung an der Querachse ausgerichtet werden und der
Aufnahmebereich der Kamera besonders einfach entlang der
30 Grundseite des auf die Scheibe projizierten Dreiecks
ausgerichtet werden.

Um eine besonders große Anzahl an dreieckigen Lichtmustermerkmalen vermessen zu können, ist in einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung vorgesehen, dass die Lichtmustermerkmale so orientiert sind, dass die Spitzen
5 benachbarter dreieckiger Lichtmustermerkmale abwechselnd in beziehungsweise entgegen die Transportrichtung weisen. Die Anzahl der dreieckigen Lichtmustermerkmale entlang der Querachse bestimmt die Auflösung des Messverfahrens entlang der Querachse und damit über die Scheibenbreite. Somit ist
10 die Anzahl an Datenpunkten zur Ermittlung von Geometrieparametern besonders groß, um in jedem streifenförmigen Aufnahmebereich und damit pro Pixelzeile der Zeilenkamera lokale Krümmungen der Oberflächenverformung bestimmen zu können.

15 Damit eine besonders genaue Bestimmung der Geometriemerkmale erfolgen kann, ist in einer vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens vorgesehen, dass benachbarte Lichtmustermerkmale mit voneinander verschiedenen
20 Lichtintensitäten auf die Scheibe projiziert werden. Somit kann ein besonders großer Kontrast zwischen zwei benachbarten Lichtmustermerkmalen erzeugt werden. Damit sind beispielsweise die zur Bestimmung der Geometrieparameter verwendeten Schnittpunkte besonders genau bestimmbar.

25 Es ist auch möglich und erfindungsgemäß vorgesehen, dass nacheinander unterschiedlich ausgestaltete Lichtmuster auf die Scheibe projiziert und von der Kamera erfasst werden, wobei die jeweils unmittelbar nebeneinander auf die Scheibe
30 projizierten Lichtmustermerkmale jedes auf die Scheibe projizierten Lichtmusters so ausgestaltet und angeordnet sind, dass sich sämtliche senkrecht zu der Transportrichtung

bestimmte Merkmalsabstände zwischen einander zugewandten Außenkonturen der unmittelbar nebeneinander projizierten Lichtmustermerkmale voneinander unterscheiden.

Erfindungsgemäß können beispielsweise Lichtmuster mit

5 dreieckförmigen Lichtmustermerkmalen verwendet werden, wobei die Dreiecke der nacheinander auf die Scheibe projizierten Lichtmuster jeweils beispielsweise unterschiedlich lange Grundseiten aufweisen. Unterschiedliche

Oberflächenverformungen wirken sich unterschiedlich stark auf

10 die jeweils verwendeten Lichtmustermerkmale aus. Durch die Verwendung verschiedener Lichtmustermerkmale in

aufeinanderfolgenden Projektionsschritten können beliebige

Oberflächenverformungen gut ermittelt werden, da eine

schwächere Auswirkung einer Oberflächenverformung auf ein

15 erstes Lichtmuster durch eine stärkere Auswirkung der Oberflächenverformung auf ein zweites Lichtmuster ausgeglichen werden kann.

Üblicherweise ist es in der Praxis nicht oder nur mit einem

20 großen Aufwand möglich, die Kamera, die

Projektionseinrichtung und die Scheibe jeweils orthogonal

zueinander auszurichten. Daher ist es zweckmäßig, vor der

Durchführung einer Messung eine Kalibrierung der

Messvorrichtung durchzuführen. Vorteilhafterweise ist

25 erfindungsgemäß vorgesehen, dass bei der Auswertung der mit

der Kamera erfassten Bilder eine in einem der Erfassung der

Bilder vorangegangenen Kalibrierschritt bestimmte Ausrichtung

eines Aufnahmebereichs der Kamera in Bezug auf das

projizierte Lichtmuster berücksichtigt wird. In Kenntnis der

30 relativen Lage des Lichtmusters auf der Scheibe in Bezug auf

die Kamera können die voranstehend beschriebenen

Auswertungsschritte sehr präzise durchgeführt werden.

Die eingangs gestellte Aufgabe wird auch durch eine
Messvorrichtung gelöst, wobei die Messvorrichtung eine
Transportvorrichtung zur Verlagerung der Scheibe relativ zu
5 der Beleuchtungseinrichtung und der Kamera oder zur
Verlagerung der Beleuchtungseinrichtung und der Kamera
relativ zu der Scheibe in der Transportrichtung aufweist,
wobei durch die Beleuchtungseinrichtung das Lichtmuster
bestehend aus mehreren zweidimensionalen Lichtmustermerkmalen
10 auf die Scheibe projizierbar ist, wobei die Kamera so
ausgerichtet ist, dass das durch die Scheibe reflektierte
Lichtmuster zumindest teilweise mit der Kamera erfassbar ist,
wobei mit der Auswerteinrichtung ein Geometrieparameter der
durch die Kamera aufgezeichneten Lichtmustermerkmale
15 bestimmbar ist, wobei die Kamera als Zeilenkamera
ausgestaltet ist. Durch die Ausgestaltung der Kamera als
Zeilenkamera kann die Ausrichtung der Kamera relativ zu der
Scheibe besonders einfach und schnell erfolgen, da für eine
Ausrichtung des streifenförmigen Aufnahmebereichs auf der
20 Scheibe der streifenförmige Aufnahmebereich in einfacher
Weise parallel zu der Querachse ausgerichtet wird. Auch die
Anpassung der durch die Beleuchtungseinrichtung erzeugte
Beleuchtung der Scheibe kann auf den streifenförmigen Bereich
gerichtet in einfacher Weise erfolgen.

25

Des Weiteren ist die Auswertung der durch die Zeilenkamera
erfassten Bilder durch eine pixelzeilenweise Auswertung der
Bildinformationen einfach und schnell möglich. Die Auswertung
einer Pixelzeile der Kamera kann in einer größeren Taktrate
30 als die Auswertung einer Auswertung von flächigen
Bildinformationen, die mittels einer Flächenkamera
aufgezeichnet werden, erfolgen. Damit kann die Bestimmung der

Geometrieparameter durch Auswertung der Bilder besonders schnell erfolgen. Die Verwendung einer Zeilenkamera oder auch die erfindungsgemäß vorteilhafte Auswertung nur einzelner Zeilen des erfassten Kamerabildes einer Flächenkamera erlaubt
5 vorteilhafterweise eine hohe Ortsauflösung des Kamerabildes in der Transportrichtung.

Um eine stationäre Messvorrichtung besonders einfach umsetzen zu können, ist in einer vorteilhaften Ausgestaltung des
10 Erfindungsgedankens vorgesehen, dass die Transportvorrichtung als Rollenförderbahn oder Bandförderbahn ausgestaltet ist, mit dem die Scheibe relativ zu der Beleuchtungseinrichtung und zur Kamera in Transportrichtung bewegt wird. Derartige Rollenförderbahnen und Bandförderbahnen sind aus
15 Herstellungsanlagen für Glasscheiben bekannt, sodass diese für eine Positionierung der Scheibe in Transportrichtung genutzt werden können. Die Beleuchtungseinrichtung und die Kamera können somit besonders einfach an einfach umzusetzende stationäre Profilkonstruktionen festgelegt werden. Eine
20 aufwändige und möglicherweise teure Antriebseinrichtung zur Bewegung der Beleuchtungsvorrichtung und der Kamera ist nicht notwendig. Somit kann ein Abstand der Beleuchtungsvorrichtung und/oder der Kamera relativ zu der Transportvorrichtung besonders einfach voreingestellt und justiert werden.

25

Für eine besonders gute Zugänglichkeit zu der Beleuchtungseinrichtung und/oder zu der Kamera ist in einer vorteilhaften Umsetzung des Erfindungsgedankens vorgesehen, dass die Kamera auf einer der Rollenförderbahn oder der
30 Bandförderbahn abgewandten Seite der Scheibe angeordnet ist. Somit können die Beleuchtungseinrichtung und die Kamera in einem gleichen Winkel zur Scheibe ausgerichtet werden.

Vorteilhafterweise ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass die Beleuchtungsvorrichtung eine Projektionslampe und ein vor der Projektionslampe in einem Projektionsbereich der

5 Projektionslampe angeordnetes Lichtmustererelement aufweist, wobei das Lichtmustererelement mehrere durchscheinende Bereiche aufweist, wobei durch die durchscheinenden Bereiche das Lichtmuster gebildet wird. Das Lichtmustererelement wird zwischen der Projektionslampe und der Scheibe angeordnet. Bei
10 dem Lichtmustererelement kann es sich beispielsweise um eine Folie handeln, die durchscheinende und nicht- oder schwachdurchscheinende Bereiche aufweist, durch die das Lichtmuster gebildet wird.

15

Weitere Vorteilhafte Ausgestaltungen des Erfindungsgedankens werden anhand von in den Zeichnungen dargestellten Ausführungsbeispielen erläutert. Es zeigen:

20 Figur 1 eine schematische Darstellung der Messvorrichtung in einer Seitenansicht,

Figur 2 eine schematische Darstellung der Messvorrichtung in einer Draufsicht,

25

Figur 3 eine schematische Darstellung eines auf die Scheibe projizierte Lichtmusters,

Figur 4 eine schematische Darstellung eines Ausschnitts des
30 in Figur 3 dargestellten Lichtmusters,

Figur 5 eine schematische Darstellung von mittels der Zeilenkamera aufgezeichneten und zusammengesetzten Einzelbildern und

- 5 Figur 6 eine schematische Darstellung eines Lichtmusters mit Lichtmustermerkmalen, die mehrere Lichtmustermerkmalteile aufweisen.

In Figur 1 ist eine schematische Darstellung der
10 Messvorrichtung in einer Seitenansicht gezeigt. Mit einer Transportvorrichtung 1 wird eine Scheibe 2 relativ zu einer Beleuchtungseinrichtung 3 und zu einer als Zeilenkamera ausgestalteten Kamera 4 positioniert. Dabei liegt die Scheibe 2 flach und waagerecht auf einer Vielzahl von
15 Transportrollen 5 der als Rollenförderbahn 6 ausgestalteten Transportvorrichtung 1 auf und wird in einer Transportrichtung 7 positioniert. Mittels der Beleuchtungseinrichtung 3 wird ein in Figur 3 gezeigtes Lichtmuster 8 auf die Scheibe projiziert. Das aus einer
20 Vielzahl von in Figur 3 gezeigten Lichtmustermerkmalen 10 bestehende Lichtmuster 8 ist entlang einer senkrecht zu der Transportrichtung 7 orientierten Querachse 11, die in Figur 2 dargestellt ist, auf die Scheibe 2 projiziert. Das durch die Scheibe reflektierte Lichtmuster 8 wird zumindest teilweise
25 mit der Kamera 4 erfasst. Dabei wird durch die als Zeilenkamera ausgestaltete Kamera 4 ein streifenförmiger und entlang der Querachse ausgerichteter Aufnahmebereich 12 aufgezeichnet, der in Figur 4 dargestellt ist. Mit einer Auswerteinrichtung 9 werden Geometrieparameter der durch die
30 Kamera 4 aufgezeichneten Lichtmustermerkmale 10 bestimmt.

In Figur 3 ist eine schematische Darstellung des auf die Scheibe 2 projizierten Lichtmusters 8 gezeigt. Das Lichtmuster 8 ist aus mehreren nebeneinander angeordneten dreieckigen Lichtmustermerkmalen 10 gebildet. Die
5 Lichtmustermerkmale 10 sind so orientiert, dass die Spitzen benachbarter dreieckiger Lichtmustermerkmale 10 in die in Figur 2 gezeigte Transportrichtung 7 weisen.

In Figur 4 ist eine schematische Darstellung eines
10 Ausschnitts des in Figur 3 dargestellten Lichtmusters 8 gezeigt. Seitenkanten der dreieckigen Lichtmustermerkmale 10 bilden jeweils einen Polygonzugabschnitt 15. Zusammen bilden die Polygonzugabschnitte 15 den das gesamte dreieckige Lichtmuster 10 umschließenden Polygonzug 16. Als
15 Geometrieparameter wird ein Abstand zwischen zwei Schnittpunkten 13 verwendet, die durch einen Schnitt einer Schnittgeraden 14 durch zwei Seiten des Lichtmustermerkmals 10 erzeugt werden. Dabei ist die Schnittgerade 14 durch den streifenförmigen
20 Aufnahmebereich 12 der Kamera 4 bestimmt.

In Figur 5 ist eine schematische Darstellung von mittels der in Figur 1 dargestellten Kamera 4 aufgezeichneten und zusammengesetzte Einzelbilder gezeigt. Dabei ist die
25 Oberflächenverformung der Scheibe 2 durch die Änderung der Breite der mit der Kamera 4 innerhalb des Aufnahmebereichs 12 aufgezeichneten Lichtmustermerkmale 10 bestimmbar. Dabei ist die in Transportrichtung 7 durch die Oberflächenverformung der Scheibe 2 hervorgerufene Verzerrung des
30 Lichtmustermerkmals 10 in Form einer zyklischen und langwellenartigen Änderung der Breite des dreieckigen Lichtmustermerkmals 10 erkennbar.

In Figur 6 ist ein Ausschnitt eines Lichtmusters 8 dargestellt. Die Lichtmustermerkmale 10 dieses Lichtmusters 8 bestehen aus jeweils drei trapezförmigen Lichtmerkmalteilen
5 17. In Bezug auf die Darstellung unterhalb des Lichtmusters 8 ist ein Lichtband 18 unmittelbar angrenzend an das Lichtmuster 8 auf die Scheibe projiziert.

In den Darstellungen der Figuren 1 bis 6 sind lediglich
10 jeweils einzelne mehrerer gleichartiger Elemente exemplarisch mit einem Bezugszeichen gekennzeichnet.

B E Z U G S Z E I C H E N L I S T E

1. Transportvorrichtung
- 5 2. Scheibe
3. Beleuchtungseinrichtung
4. Kamera
5. Transportrolle
6. Rollenförderbahn
- 10 7. Transportrichtung
8. Lichtmuster
9. Auswerteinrichtung
10. Lichtmustermerkmal
11. Querachse
- 15 12. Aufnahmebereich
13. Schnittpunkt
14. Schnittgerade
15. Polygonzugabschnitt
16. Polygonzug
- 20 17. Lichtmerkmalteile
18. Lichtband

P A T E N T A N S P R Ü C H E

1. Messverfahren zur Bestimmung der Ebenheit einer
5 transparenten Scheibe (2), wobei mittels einer
Transportvorrichtung (1) die Scheibe (2) relativ zu einer
Beleuchtungseinrichtung (3) und einer Kamera (4) oder die
Beleuchtungseinrichtung (3) und die Kamera (4) relativ zu der
Scheibe (2) in einer Transportrichtung (7) verlagert wird,
10 wobei mit der Beleuchtungseinrichtung (3) ein Lichtmuster (8)
bestehend aus mehreren zweidimensionalen
Lichtmustermerkmalen (10) auf die Scheibe (2) projiziert
wird, wobei die mehreren Lichtmustermerkmale (10)
nebeneinander in einer senkrecht zu der Transportrichtung (7)
15 orientierten Querachse (11) auf die Scheibe (2) projiziert
werden, wobei das durch die Scheibe (2) reflektierte
Lichtmuster (8) zumindest teilweise mit der Kamera (4)
erfasst wird, wobei ein Geometrieparameter der durch die
Kamera (4) aufgezeichneten Lichtmustermerkmale (10) bestimmt
20 wird, und durch Auswertung mehrerer nacheinander von der
Kamera (4) erfasster Bilder eine durch die Reflexionen an der
Scheibe (2) hervorgerufene Veränderung des
Geometrieparameters eines oder mehrerer
Lichtmustermerkmale (10) ausgewertet wird, **dadurch**
25 **gekennzeichnet**, dass eine Umfangslinie der
Lichtmustermerkmale (10) jeweils durch einen Polygonzug (16)
gebildet wird, der mehrere geradlinig verlaufende
Polygonzugabschnitte (15) aufweist, wobei einander zugewandte
Polygonzugabschnitte (15) benachbarter Lichtmustermerkmale
30 (10) nicht parallel zueinander ausgerichtet sind.

2. Messverfahren gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass jeweils unmittelbar nebeneinander auf die Scheibe projizierte Lichtmustermerkmale (10) so ausgestaltet und angeordnet sind, dass sich sämtliche senkrecht zu der
5 Transportrichtung (7) bestimmte Merkmalsabstände zwischen einander zugewandten Außenkonturen der unmittelbar nebeneinander projizierten Lichtmustermerkmale (10) voneinander unterscheiden.

10 3. Messverfahren gemäß Anspruch 1 oder Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass das Lichtmuster (8) aus dreieckigen Lichtmustermerkmalen (10) gebildet wird.

4. Messverfahren gemäß Anspruch 1 oder Anspruch 2, dadurch
15 gekennzeichnet, dass die Lichtmustermerkmale (10) aus mehreren in der Transportrichtung (7) hintereinander angeordneten und aneinander angrenzenden trapezförmigen Lichtmustermerkmalteilen (17) gebildet wird.

20 5. Messverfahren gemäß einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Geometrieparameter einen Abstand zwischen zwei Schnittpunkten (13) beschreibt, die durch einen Schnitt einer Schnittgeraden (14) mit zwei Seiten des Lichtmustermerkmals (10) erzeugt werden.

25

6. Messverfahren gemäß einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Lichtmustermerkmale (10) ausgefüllt ausgestaltet sind.

30 7. Messverfahren gemäß einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass in der Transportrichtung (7) vor

und/oder hinter dem Lichtmuster (8) ein Lichtband (18) auf die Scheibe projiziert wird.

8. Messverfahren gemäß Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet,
5 dass das Lichtband (18) unmittelbar an das Lichtmuster (8) angrenzt, sodass die Lichtmustermerkmale (10) und das Lichtband (18) ineinander übergehen.

9. Messverfahren gemäß einem der voranstehenden Ansprüche,
10 dadurch gekennzeichnet, dass dunkle Bereiche zwischen benachbart zueinander angeordneten Lichtmustermerkmalen (10) des Lichtmusters (8) ebenfalls von der Beleuchtungseinrichtung (3) beleuchtet werden, wobei eine Beleuchtungsintensität der dunklen Bereich geringer ist als
15 die Beleuchtungsintensität heller Bereiche des Lichtmusters (8).

10. Messverfahren gemäß Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Beleuchtungsintensität der dunklen Bereiche maximal
20 10%, vorteilhafterweise maximal 5% und besonders vorteilhafterweise maximal 2% der Beleuchtungsintensität der hellen Bereiche beträgt.

11. Messverfahren gemäß Anspruch 4 oder Anspruch 4 und einem
25 der Ansprüche 5 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass sich Beleuchtungsintensitäten der Lichtmustermerkmalteile (17) eines Lichtmustermerkmals (10) voneinander unterscheiden.

12. Messverfahren gemäß einem der voranstehenden Ansprüche,
30 dadurch gekennzeichnet, dass in einem mit der Kamera (4) aufgezeichneten Bild ein streifenförmiger Aufnahmebereich (12) der Scheibe (2) erfasst wird, wobei der

streifenförmige Aufnahmebereich (12) parallel zu der Querachse (11) orientiert ist und die Scheibe (2) entlang der Querachse (11) vollständig erfasst wird.

5 13. Messverfahren gemäß Anspruch 3 oder Anspruch 3 und einem der Ansprüche 5 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass die dreieckigen Lichtmustermerkmale (10) so orientiert sind, dass Spitzen der Lichtmustermerkmale (10) in oder entgegen der Transportrichtung weisen.

10

14. Messverfahren gemäß Anspruch 3 oder Anspruch 3 und einem der Ansprüche 5 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Lichtmustermerkmale (10) so orientiert sind, dass die Spitzen benachbarter dreieckiger Lichtmustermerkmale (10) abwechselnd
15 in beziehungsweise entgegen die Transportrichtung (7) weisen.

15. Messverfahren gemäß einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass benachbarte Lichtmustermerkmale (10) mit voneinander verschiedenen
20 Lichtintensitäten auf die Scheibe (2) projiziert werden.

16. Messverfahren gemäß einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass nacheinander unterschiedlich ausgestaltete Lichtmuster (8) auf die Scheibe (2) projiziert
25 und von der Kamera (4) erfasst werden, wobei die jeweils unmittelbar nebeneinander auf die Scheibe projizierten Lichtmustermerkmale (10) jedes auf die Scheibe projizierten Lichtmusters (8) so ausgestaltet und angeordnet sind, dass sich sämtliche senkrecht zu der Transportrichtung (7)
30 bestimmte Merkmalsabstände zwischen einander zugewandten Außenkonturen der unmittelbar nebeneinander projizierten Lichtmustermerkmale (10) voneinander unterscheiden.

17. Messverfahren gemäß einem der voranstehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass bei der Auswertung der mit der
Kamera (4) erfassten Bilder eine in einem der Erfassung der
5 Bilder vorangegangenen Kalibrierschritt bestimmte Ausrichtung
eines Aufnahmebereichs der Kamera (4) in Bezug auf das
projizierte Lichtmuster (8) berücksichtigt wird.

18. Messvorrichtung zur Durchführung des Messverfahrens gemäß
10 den Ansprüchen 1 bis 17, wobei die Messvorrichtung eine
Transportvorrichtung (1) zur Verlagerung der Scheibe (2)
relativ zu der Beleuchtungseinrichtung (3) und der Kamera (4)
oder zur Verlagerung der Beleuchtungseinrichtung (3) und der
Kamera (4) relativ zu der Scheibe (2) in der
15 Transportrichtung (7) aufweist, wobei durch die
Beleuchtungseinrichtung (3) das Lichtmuster (8) bestehend aus
mehreren zweidimensionalen Lichtmustermerkmalen (10) auf die
Scheibe (2) projizierbar ist, wobei die Kamera (4) so
ausgerichtet ist, dass das durch die Scheibe (2) reflektierte
20 Lichtmuster (8) zumindest teilweise mit der Kamera (4)
erfassbar ist, wobei mit der Auswerteinrichtung (9) ein
Geometrieparameter der durch die Kamera (4) aufgezeichneten
Lichtmustermerkmale (10) bestimmbar ist, wobei die Kamera (4)
als Zeilenkamera ausgestaltet ist.

25

19. Messvorrichtung gemäß Anspruch 18, dadurch
gekennzeichnet, dass die Transportvorrichtung (1) als
Rollenförderbahn oder als Bandförderbahn ausgestaltet ist,
mit dem die Scheibe (2) relativ zu der
30 Beleuchtungseinrichtung (3) und zur Kamera (4) in
Transportrichtung (7) bewegt wird.

20. Messvorrichtung gemäß Anspruch 18 oder 19, dadurch gekennzeichnet, dass die Kamera (4) auf einer der Rollenförderbahn oder der Bandförderbahn abgewandten Seite der Scheibe (2) angeordnet ist.

5

21. Messvorrichtung gemäß einem der Ansprüche 18 bis 20, dadurch gekennzeichnet, dass die Beleuchtungsvorrichtung (3) eine Projektionslampe und ein vor der Projektionslampe in einem Projektionsbereich der Projektionslampe angeordnetes
10 Lichtmustererelement aufweist, wobei das Lichtmustererelement mehrere durchscheinende Bereiche aufweist, wobei durch die durchscheinenden Bereiche das Lichtmuster (8) gebildet wird.

FIG 1

LU504045

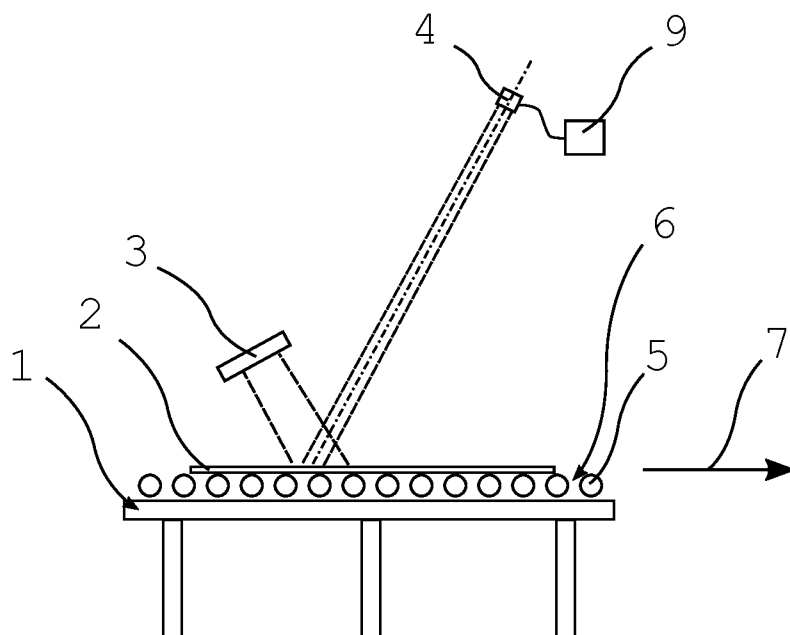


FIG 2

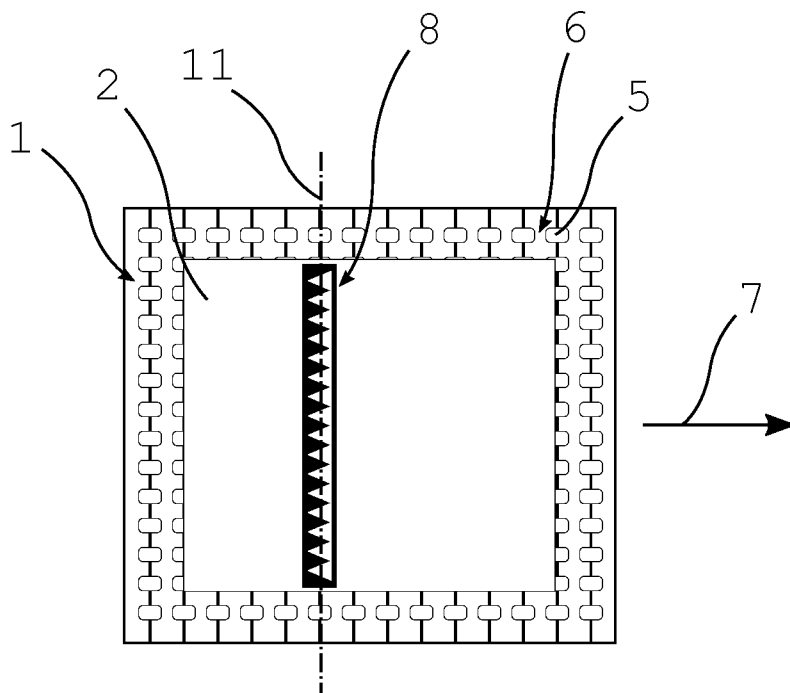


FIG 3

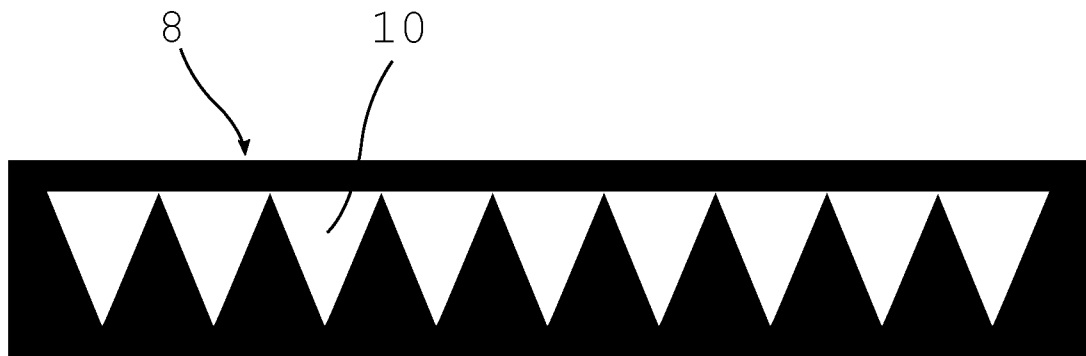


FIG 4

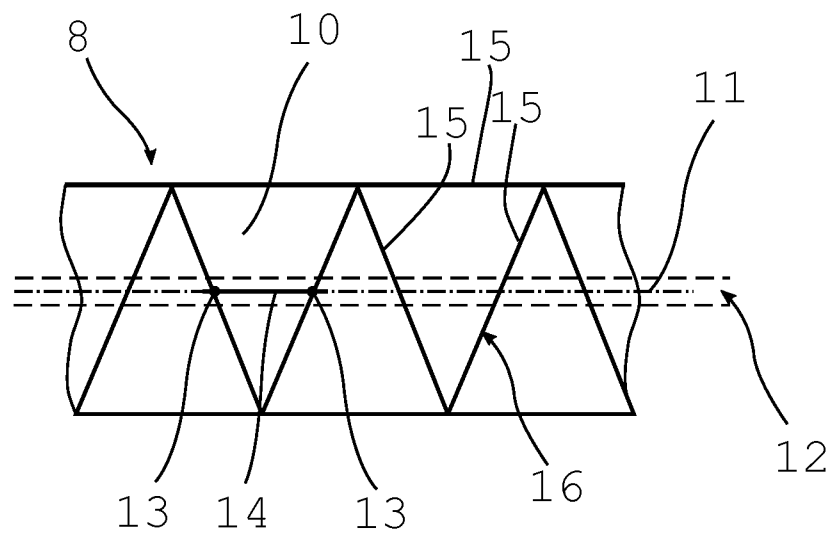


FIG 5

LU504045

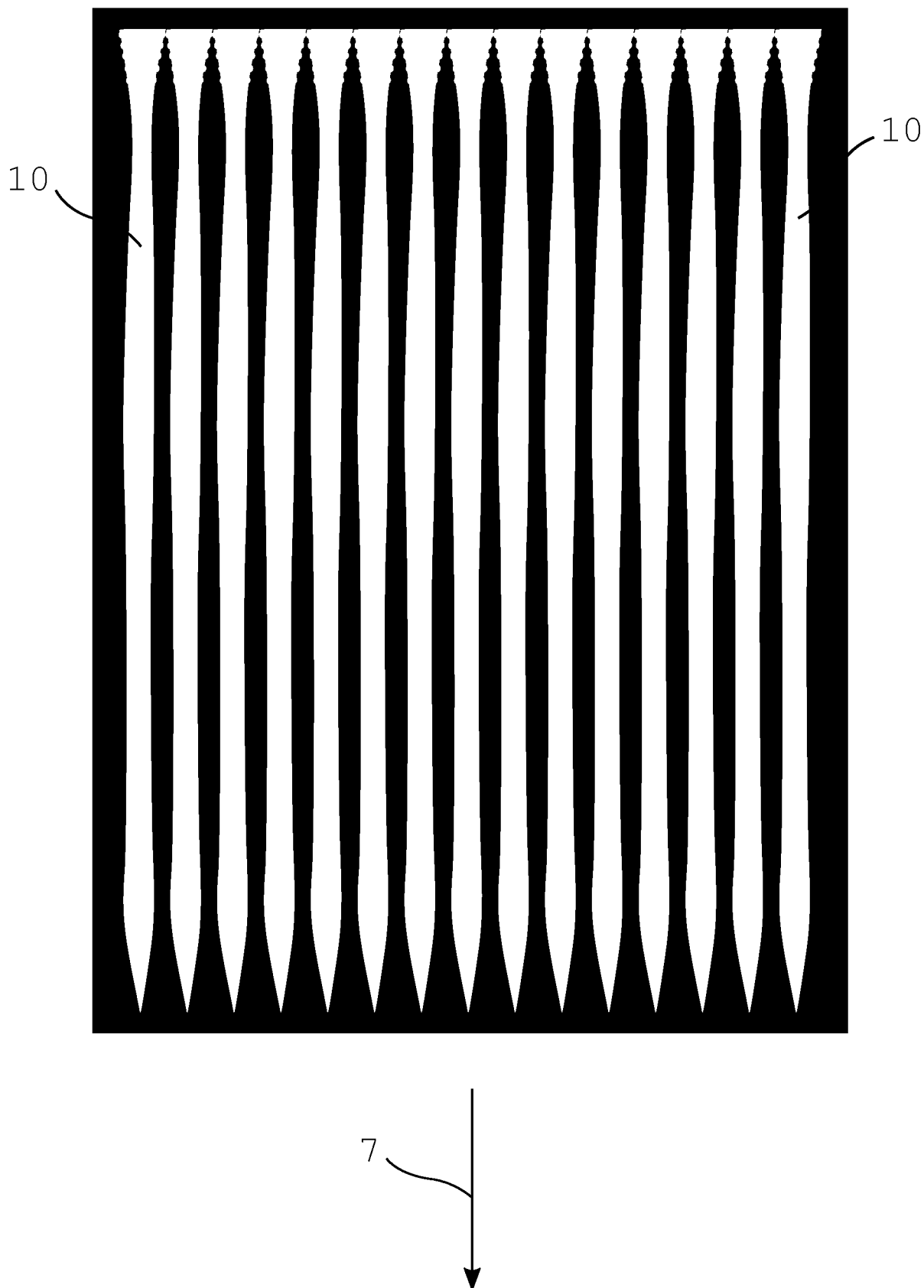


FIG 6

LU504045

