



(10) **DE 11 2007 000 650 B4** 2012.04.12

(12)

Patentschrift

(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2007 000 650.1**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/DE2007/001951**
(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2008/052526**
(86) PCT-Anmeldetag: **30.10.2007**
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **08.05.2008**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **12.04.2012**

(51) Int Cl.: **G01N 21/25 (2006.01)**
G01N 21/47 (2006.01)
G01N 21/59 (2006.01)
G01J 3/10 (2006.01)
G02B 27/09 (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).

(66) Innere Priorität:
10 2006 051 717.2 30.10.2006

(73) Patentinhaber:
**VON ARDENNE Anlagentechnik GmbH, 01324,
Dresden, DE**

(74) Vertreter:
**Patentanwälte Lippert, Stachow & Partner, 01309,
Dresden, DE**

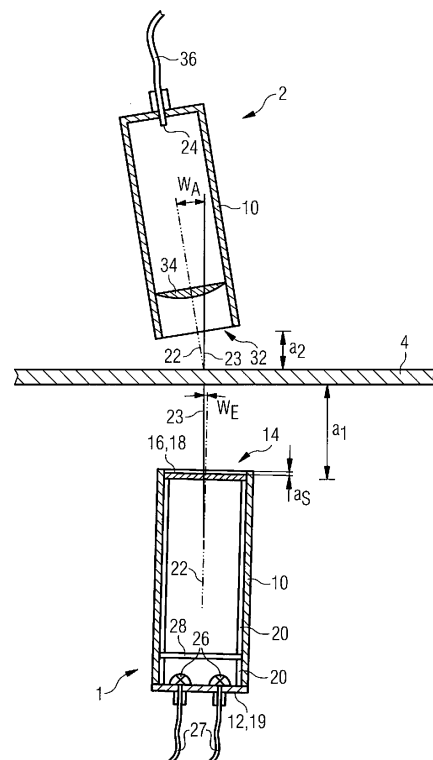
(72) Erfinder:
Krause, Jochen, Dipl.-Ing., 01309, Dresden, DE;
Pröhl, Holger, Dr., 01324, Dresden, DE

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

(54) Bezeichnung: **Lichtsender, Lichtempfänger und Messeinrichtung zur Messung optischer Eigenschaften transparenter Substrate**

(57) Hauptanspruch: Messeinrichtung zur Messung optischer Eigenschaften von transparenten Substraten (4), umfassend:

- einen Lichtsender (1), der mit einem definierten Einfallswinkel (W_E) zwischen seiner optischen Achse (22) und der Flächennormalen (23) der dem Lichtsender (1) zugewandten Oberfläche des Substrats (4) angeordnet ist und diffuses Licht zur Beleuchtung des zu messenden Substrats (4) ausstrahlt, und
- zumindest einen Lichtempfänger (2), der im Strahlengang des vom Lichtsender (1) ausgesendeten und das Substrat (4) passierenden Lichts und mit einem Ausfallswinkel (W_A) zwischen der optischen Achse (22) des Lichtempfängers (2) und der Flächennormalen (23) des Substrats (4) angeordnet ist,
- wobei der Lichtsender (1) aus einem Hohlzylinder (10) mit einer hoch und diffus reflektierenden, im Folgenden als weiß bezeichneten inneren Oberfläche, einer im Inneren des Hohlzylinders (10) angeordneten Lichtquelle (26) und einer in der ersten Grundfläche (12) des Hohlzylinders (10) angeordneten sowie zur Lichtquelle (26) beabstandeten Lichtaustrittsöffnung (14) besteht,
- wobei die...



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

DE	10 2005 010 681	A1
GB	2 147 413	A
EP	0 458 223	A2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen Lichtsender, einen Lichtempfänger sowie eine Messeinrichtung unter Verwendung eines solchen Lichtsenders oder Lichtempfängers zur Messung optischer Eigenschaften von transparenten Substraten.

[0002] Es sind Lichtsender oder Lichtempfänger bekannt, die aus einem Hohlkörper bestehen mit einer hoch reflektierenden und diffus streuenden, d. h. weißen inneren Oberfläche, einer im Inneren des Hohlkörpers angeordneten Lichtquelle bzw. Lichtsensor und einer dazu beabstandeten Lichtaustrittsöffnung bzw. Lichteintrittsöffnung. Die Messeinrichtung umfasst im Wesentlichen außer dem Lichtsender, der diffuses Licht zur Beleuchtung des zu messende Substrat aussendet, einen Lichtempfänger, welcher im Strahlengang des Lichts angeordnet ist, das vom Lichtsender ausgesendet ist und das Substrat passiert hat oder vom Substrat reflektiert wurde.

[0003] Zur Messung der Transmissions- und Reflexionseigenschaften verschiedenster transparenter Medien wie Glas, Folien, Beschichtungen oder Glasfilter wird in der Regel kollimiertes Licht zur Durchstrahlung auf die Probe gerichtet. Das hindurchtretende Licht wird anschließend wieder in eine Optik abgebildet und entsprechend der Messaufgabe ausgewertet.

[0004] Bei gewölbten Objekten wie Brillengläsern, beschichteten Linsen oder bei streuenden, d. h. die Strahlung ohne Intensitätsverlust ungerichtet ablenkenden Substraten, wie Streuscheiben für Signalanlagen, versagt diese Messgeometrie. Hier ist, wie auch bei trüben Flüssigkeiten die Messung mit diffusem Licht notwendig. Dabei sind die Anforderungen sehr anwendungsspezifisch und hängen von den Objekteigenschaften ab. Der Aufbau besteht dann im Allgemeinen aus einer Lichtquelle, die in einer Integrations- oder Ulbrichtkugel angeordnet ist und deren Ausgangsöffnung gegenüber liegend ein Lichtempfänger das austretende Licht auffängt. Ebenso ist es auch möglich, den Strahlengang einer Lichtquelle zu kollimieren und auf die Probenöffnung der Ulbrichtkugel zu richten. In beiden Anordnungen wird das Messobjekt in den Strahlengang nahe der Kugelöffnung eingeführt.

[0005] Eine Integrations- oder Ulbrichtkugel ist eine Hohlkugel mit einer inneren Oberfläche mit absolut matten Reflexionseigenschaften. Das Licht einer im Inneren der Kugel angeordneten Lichtquelle wird vielfach diffus reflektiert, so dass jedes Flächenstück der Innenfläche, so auch eine Austrittsöffnung, gleich stark beleuchtet wird und dessen Leuchtdichte dem Gesamtlichtstrom proportional ist.

[0006] Je nach Richtung des Strahlenganges wird auf diese Weise das mit seinem zu messenden Flächenabschnitt unmittelbar an der Austritts- oder Einfallsoffnung der Integrationskugel positionierte Substrat entweder diffus, d. h. aus einer Vielzahl verschiedener Richtungen einfallend, beleuchtet oder das im Substrat gestreute Licht wird vollständig mit der Kugel aufgefangen. Entsprechend der jeweils gewählten Messgeometrie wird jeweils jenseits des Substrats, der Austritts- oder Einfallsoffnung der Kugel gegenüber liegend und mit einer definierten Winkelausrichtung ein Lichtempfänger oder ein Lichtsender angeordnet.

[0007] Z. B. wird in der EP 0 458 223 A2 eine Messvorrichtung beschrieben, die zur Absorptionsmessung transparenter Proben mit unregelmäßig angeordneten Oberflächen eine Ulbrichtkugel als Lichtempfänger verwendet. Die zu messenden Proben sind innerhalb der Ulbrichtkugel selbst oder eines mit der Kugel verbundenen Volumens angeordnet, dessen innere Oberfläche die gleichen vielfach streuenden Eigenschaften aufweist, wie die Kugelfläche. Eine solche Anordnung ist jedoch nur für kleine Probengeometrien geeignet.

[0008] Bei der Herstellung und/oder Qualitätskontrolle optischer Erzeugnisse ist es häufig erforderlich, deren optische Eigenschaften, wie z. B. das Reflexions- und Transmissionsverhalten zu bestimmen und in-situ zu überwachen, um den Herstellungsprozess zu steuern. Das ist insbesondere der Fall, wenn auf flächige Substrate in einem Beschichtungsprozess dünne Schichten mit hoher Gleichmäßigkeit, definierten Schichtdicken und definierten optischen Eigenschaften aufgebracht werden sollen.

[0009] Da z. B. die winkelabhängige Transmission von Substraten durch das Aufbringen dünner, z. B. gesputterter Schichten modifiziert wird, ist mittels der in-situ-Messung der Transmission während des Herstellungsprozesses das Schichtwachstum hinsichtlich Qualität und Dicke zu beobachten und zu steuern. Die Streuung in den dünnen Schichten selbst ist dabei vernachlässigbar.

[0010] Zur Messung der Reflexion und Transmission der beschichteten Substrate werden z. B. bei der Realisierbarkeit von kurzen Lichtwegen innerhalb der Beschichtungskammer Fotometer verwendet, die ein monochromatisches Transmissions- und/oder Reflexionssignal des Substrats und ein Referenzsignal der Lichtquelle des Fotometers erfassen.

[0011] Die in der DE 10 2005 010 681 A1 beschriebene Messvorrichtung ist auch für plasma- oder ionenstrahlunterstützte Prozesse geeignet, wo der Lichtweg aufgrund der wesentlich größeren Entfernung der Beschichtungs-, Ionen- oder Plasmaquelle zum Substrat und aufgrund des erforderlichen Schutz-

zes der Messvorrichtung vor störenden Materialablagerungen deutlich verlängert wird. Auch in dieser Vorrichtung kreuzt das zu messende Substrat den Strahlengang zwischen einer Lichtquelle und einer Lichtempfängereinheit und in jedem Fall stehen an die Justierung insbesondere des Lichtsenders hohe Anforderungen. Der Schutz der Messvorrichtung gegenüber der Beschichtungsquelle erfolgt in der letztgenannten Vorrichtung durch eine Blende.

[0012] In der GB 2 147 413 A ist eine Messvorrichtung zur Transmissions- und Reflexionsmessung zur Qualitätskontrolle von bandförmigem Papier beschrieben. Hier sind oberhalb und unterhalb des Substrats einander gegenüber liegend jeweils eine Ulbrichtkugel zur Messung des reflektierten und des durch das Substrat hindurch getretenen Lichts angeordnet.

[0013] Die Anwendung einer Integrationskugel als Lichtsender oder Lichtempfänger zur Messung beispielsweise streuender Substrate ist aber aufgrund der Störanfälligkeit solch einer Messanordnung und ihrer hohen Kosten weder für Messungen in einer Beschichtungskammer noch für die in-situ-Messung eines kontinuierlichen Herstellungsprozesses vorteilhaft. Darüber hinaus führt die gegenüber liegende Anordnung von Lichtempfänger und Lichtsender bei dickeren Substraten mit höherem Transmissionsgrad und zwei reflektierenden Oberflächen zur Verfälschung der Messergebnisse infolge der in die Lichtempfänger eintretenden Anteile, die zwischen den beiden Substratoberflächen mehrfach reflektiert wurden.

[0014] Es ist daher Aufgabe der Erfindung, eine Vorrichtung zur Messung optischer Eigenschaften von transparenten Substraten anzugeben, die auch für die in-situ-Messung in Vakuumbeschichtungsanlagen und auch zur Messung an streuenden Substraten einsetzbar ist, an solchen Substraten eine Verfälschung der Messung durch Mehrfachreflexionen im Substrat vermeidet und gleichzeitig einen geringen apparativen und Kostenaufwand ermöglicht.

[0015] Mit dem beschriebenen Lichtsender und Lichtempfänger als einen wesentlichen Teil der Messeinrichtung zur Messung optischer Eigenschaften ist es, vergleichbar zur Integrationskugel, ebenfalls möglich, diffuses Licht auf das Substrat zu richten und diffuses Licht auf dem Messfleck innerhalb des Lichtempfängers aufzunehmen. Die Ausführung von Lichtsender und Lichtempfänger als Hohlzylinder ist im Vergleich zu Integrationskugel deutlich einfacher und kostengünstiger in der Fertigung und ebenso einfacher in der Handhabung. Deshalb sind der beschriebene Lichtsender und Lichtempfänger besonders für den Einsatz unter speziellen klimatischen Messbedingungen und für den Einsatz in Beschichtungsanlagen geeignet. Auch die Anwendung meh-

rerer Lichtsender oder Lichtempfänger zur Messung an einem Substrat ist möglich. Da die beschriebenen Vorrichtungen sowohl für beschichtete als auch für unbeschichtete Substrate verwendbar sind, soll im Folgenden allgemein von Substraten die Rede sein, unabhängig davon, ob es beschichtet ist oder nicht.

[0016] Das von der Lichtquelle eines Lichtsenders im Hohlzylinder ausgesendete Licht wird an der hoch und diffus reflektierenden inneren Oberfläche mehrfach reflektiert, so dass das durch die Lichtaustrittsöffnung des Hohlzylinders austretende Licht eine direktionale Verteilung der Intensität der Strahlung aufweist, die, vergleichbar der aus einer Integrationskugel austretende Strahlung mit einer dem Kosinus des jeweiligen Winkels proportionalen Intensität, eine charakteristische Keulenform aufweist. Der hier betrachtete Winkel ist jener zwischen der optischen Achse des Lichtsenders und der jeweils betrachteten Ausbreitungsrichtung des Lichts.

[0017] Da sich die Lichtaustrittsöffnung in einer Grundfläche des Hohlzylinders befindet, ist in der direktionalen Verteilung nur die Strahlung mit einem Winkel zwischen 0° und einem Maximalwert enthalten, der kleiner ist als 90° . Dieser Maximalwert ist ausschließlich geometrisch durch den Durchmesser des Hohlzylinders im Verhältnis zur Größe und Lage der Lichtaustrittsöffnung bedingt und führt zu einer Keulenform, die schlanker ist, d. h. einen geringeren Öffnungswinkel aufweist als bei einer Integrationskugel. Dies hat auf die Transmissionsmessung jedoch nur einen vernachlässigbaren Einfluss, da der Anteil der fehlenden Ausbreitungsrichtung zum einen durch die geometrische Gestaltung des Lichtsenders und zum anderen durch seine Positionierung mit einem definierten Abstand zum Substrat minimiert werden kann. Des weiteren minimiert sich dieser Effekt insbesondere bei der Messung an gering streuenden Substraten, da festgestellt wurde, dass die Strahlung, die mit großem Winkel auf das Substrat trifft, aufgrund ihrer Streuung im Substrat nicht durch das Substrat hindurch zu einem Lichtempfänger tritt, da der Lichtempfänger unter kleinem Winkel zum Substrat positioniert ist.

[0018] Um die charakteristische Intensitätsverteilung mithilfe des Lichtsenders zu erzielen, ist eine Mindestlänge des Hohlzylinders erforderlich. Diese muss so bemessen sein, dass eine ausreichende Anzahl von Reflexionen erfolgen kann, so dass keine Vorzugsrichtung des Lichts mehr festzustellen ist. Zur Bemessung ist es auch erforderlich, sowohl die Intensitätsverteilung der gewählten Lichtquelle und deren Lage relativ zur Lichtaustrittsöffnung zu berücksichtigen.

[0019] Die oben beschriebenen Aspekte hinsichtlich des Aufbaus und der Wirkungsweise eines Lichtsenders treffen in analoger Weise auch für einen Licht-

empfänger zu, der anstelle einer Lichtquelle einen Lichtsensor umfasst zur Aufnahme des in den Lichtempfänger eingefallenen und in ihm diffus reflektierten Lichts. Das in die Lichteintrittsöffnung eintretende Licht wird an der hoch und diffus reflektierenden inneren Oberfläche des Hohlzylinders des Lichtempfängers mehrfach reflektiert, so dass das auf jene Grundfläche des Hohlzylinders austretende Licht, welche der Lichteintrittsöffnung gegenüber liegt und in welcher der Lichtsensor angeordnet ist, die oben beschriebene direktionale Verteilung der Intensität der Strahlung aufweist. Auch bei einem Lichtempfänger ist der relevante Winkel jener zwischen der optischen Achse des Lichtempfängers und der jeweils betrachteten Ausbreitungsrichtung des Lichts.

[0020] Um die Länge des Hohlzylinders zu optimieren und um zu gewährleisten, dass z. B. bei gering streuenden Substraten überhaupt eine diffuse Reflexion des in den Hohlzylinder einfallenden Lichts erfolgt, ist entsprechend einer Ausgestaltung des Lichtsenders oder des Lichtempfängers die Lichtaus- bzw. Lichteintrittsöffnung mit einer transparenten, das Licht streuenden Platte, im Folgenden als Streuscheibe bezeichnet, vollständig abgedeckt. Das innerhalb des Hohlzylinders mehrfach reflektierte bzw. auf die Lichteintrittsöffnung fallende Licht wird durch die Streuscheibe gestreut. Für einen Lichtsender strahlt das von diesem Lichtsender abgestrahlte Licht in nahezu alle Richtung und erfüllt somit den Erfordernissen eines diffuses Licht abstrahlenden Senders für die Transmissionsmessung insbesondere an streuenden Substraten entspricht.

[0021] Bei einem Lichtempfänger wird durch den Einsatz einer Streuscheibe auch die Messung an wenig streuenden Substraten und zwar unabhängig von der Verwendung des Lichtsenders möglich, da in keinem Fall ein direkter Strahlengang vom Lichtsender durch das Substrat oder über die Reflexion am Substrat zum Lichtsensor erfolgen kann. Denn für die Messung der optischen Eigenschaften des durchstrahlten oder reflektierenden Substrats wird, vergleichbar der Messung mit einer Integrationskugel, die Intensität der aufgenommenen Strahlung oder deren Änderung an einem definierten Messfleck gemessen und ausgewertet, so dass ein direkter, d. h. nicht diffus reflektierter Strahlengang die Messung verfälscht oder gar verhindert.

[0022] Darüber hinaus kann die Wirkung der Streuscheibe durch geeignete Wahl oder Modifikation des Materials der Streuscheibe gezielt beeinflusst werden. Im einfachsten Fall kann zumindest eine Streuscheibe eine gleichmäßig sandgestrahlte Glas- oder Kunststoffscheibe sein. Auch die Verwendung eines holografischen Diffusers oder eines Diffuser mit Mikrolinsen oder Mikrokeilen ist möglich.

[0023] Ebenso ist es für eine stärkere Streuwirkung möglich, dass im Hohlzylinder parallel zur ersten Streuscheibe und mit einem Abstand zu dieser eine zweite Streuscheibe derart angeordnet ist, dass das Licht im Hohlzylinder auch die zweite Streuscheibe passiert. Auf diese Weise kann die Wirkung durch Mehrfachreflexion an der Innenfläche des Hohlzylinders im Zusammenhang mit einer Streuscheibe vervielfältigt werden. Auch können durch geeignete Wahl der inneren Mantelfläche des Hohlzylinders oberhalb der ersten Streuscheibe, d. h. nach dem Durchgang des Lichts durch eine erste Stufe, besondere Effekte in der Reflexion erzielt werden, wodurch besonderen anwendungsspezifischen Anforderungen an die Messung entsprochen werden kann. Gleichermaßen sind Materialkombinationen der Streuscheiben möglich.

[0024] Eine günstige Intensitätsverteilung mit großem Maximalwert des Ausfallwinkels des aus der Lichtaustrittsöffnung eines Lichtsenders austretenden oder in die Lichteintrittsöffnung eines Lichtempfängers eintretenden Lichts wird erzielt, wenn entsprechend einer weiteren Ausgestaltung des Lichtsenders die jeweilige Öffnung die Größe der ersten, der Öffnung gegenüber liegenden Grundfläche der Innenfläche des Hohlzylinders aufweist. D. h. die Öffnung des Hohlzylinders für den Ein- oder Austritt des Lichts wird gegenüber dem inneren Durchmesser des Hohlzylinders nicht verringert, Lichtein- oder Lichtaustritt werden nicht durch Blenden oder vergleichbares begrenzt.

[0025] Darüber hinaus wirkt es sich für eine gleichmäßige Intensitätsverteilung aufgrund einer gleichmäßigen Mehrfachreflexion im Hohlzylinder auch günstig aus, wenn die Lichtquelle in der ersten Grundfläche gegenüberliegenden, zweiten Grundfläche angeordnet ist. Es versteht sich, dass alternativ auch eine Anordnung der Lichtquelle oder des Lichtsensors in einer anderen Fläche des Hohlzylinders möglich ist, z. B. um einen direkten Strahlengang des Lichts zwischen der Öffnung und Lichtquelle bzw. Lichtsensor auch bei fehlender Streuscheibe auszuschließen.

[0026] Der beschriebene Lichtsender und auch der beschriebene Lichtempfänger sind sehr flexibel im Aufbau. Durch das Einfügen verschiedener Komponenten sind sie z. B. hinsichtlich der Lichtquelle bzw. des Lichtsensors, des Spektrums oder der Polarisation durch den Anwender selbst einfach an die jeweilige Messaufgabe anzupassen. So gestattet es ihre Ausgestaltung als Hohlzylinder auf besonders einfache Weise, das von der Lichtquelle ausgesendete und das vom Lichtsensor aufgenommene Licht durch Filter an bestimmte Anforderungen anzupassen, indem der oder die Filter im Hohlzylinder so angeordnet werden, dass das den Hohlzylinder passierende Licht auch jeden Filter zwangsläufig passiert hat. Da-

für sind scheibenförmige Filter geeignet, die parallel zur ersten Grundfläche, aufeinanderfolgend mit einem definierten Abstand im Zylinder eingepasst sind. Bei der Anordnung von mehreren Filtern ist der Abstand zueinander und zur Lichtquelle bzw. zum Lichtsensor sowie zur Öffnung des Hohlzylinders so zu wählen, dass die ausreichend mehrfache Reflexion nicht behindert wird.

[0027] Als Filter können z. B. Polarisationsfilter oder Farbfilter verwendet werden. Polarisationsfilter kommen beispielsweise für bestimmte Materialien des zu messenden Substrats oder bei bestimmten, auf einem Trägermaterial abgeschiedenen Schichtmaterialien in Betracht. Hingegen bewirken Farbfilter insbesondere die spektrale Anpassung des Lichts der Lichtquelle z. B. an die Konfiguration des Lichtempfängers um dessen Aussteuerung zu verbessern. Entsprechend der zu messenden optischen Eigenschaften, des Substrats, der Lichtquelle oder des Lichtsensors kommen auch andere Filter in Betracht.

[0028] Als Lichtquellen können entsprechend der erforderlichen Intensität, des Spektrums, der klimatischen Einsatzbedingungen oder auch der Messaufgabe verschiedene Ausführungen eingesetzt werden. Für die Schichtdickenmessung auf einem Trägermaterial abgeschiedener metallischer Schichten ist z. B. eine Infrarotquelle nutzbar, während eine Weißlichtquelle z. B. zur Ermittlung des Transmissionspektrums von dielektrischen Schichten verwendet wird. In diesem Fall umfasst der Lichtempfänger einen Polychromator, mit dem das aufgenommene Lichtsignal in seine spektralen Anteile aufgespalten und ausgewertet wird.

[0029] Darüber hinaus können Lichtquellen entweder im Hohlzylinder angeordnete Strahlungsquellen sein, wie z. B. Laser oder Entladungslampen, oder auch Licht leitende, projizierende oder abbildende optische Anordnungen, wie z. B. Glasfasern, Objektive, Linsen, Spiegel oder integrierte optische Wellenleiter oder auch direkt Licht emittierende optische Bauelemente, wie z. B. LEDs. Beispielsweise kommen als Strahlungsquellen mit weitem Spektralbereich und hoher Leuchtdichte Halogenlampen, Deuteriumlampen oder Xenionlampen zur Anwendung. Oder die Lichtaustrittsöffnung eines in den Hohlzylinder ragenden, beleuchteten Lichtleiters dient als Lichtquelle. Letzteres hat die Wirkung, dass die thermische Belastung des Hohlzylinders und damit ein thermischer, das Emissionsspektrum des Lichtsensors negativ beeinflussender Effekt vermieden werden.

[0030] In einer weiteren Ausgestaltung des Lichtsensors ist im Hohlzylinder eine weitere Lichtquelle angeordnet, die sich an einem zur ersten Lichtquelle vergleichbaren Platz befindet, so dass auch das von der zweiten Lichtquelle ausgesandte Licht an der

Lichtaustrittsöffnung des Hohlzylinders diffus austritt. Regelmäßig werden deshalb beide Lichtquellen in unmittelbarer Nähe zueinander angeordnet sein. Ist damit jedoch eine unerwünschte, lokal bedingte thermische Belastung verbunden, ist es ebenso möglich, beide Lichtquellen mit einem Abstand zueinander anzuordnen.

[0031] Sofern die zweite Lichtquelle unabhängig von der ersten zu betreiben ist, können Ausfallzeiten einer Lichtquelle kompensiert oder besondere Messanforderungen durch entsprechende Kombination beider Quellen erfüllt werden.

[0032] In vergleichbarer Weise ist auch der Lichtsensor des Lichtempfängers an die jeweilige Messaufgabe, das Substrat und den Eigenschaften des verwendeten Lichts anpassbar. In den entsprechenden Ausgestaltungen des Lichtempfängers können die bekannten Lichtsensoren eingesetzt werden, wie z. B. eine Fotodiode, ein Fotowiderstand oder auch der Eingang eines Lichtleiters analog der oben beschriebenen Verwendung als Lichtquelle, kombiniert mit einem Kollimator. Zur Vergrößerung des Messflecks sind in einer weiteren Ausgestaltung auch mehrere, rasterartig in einer Fläche angeordnete Lichtsensoren verwendbar. Der Einsatz eines Lichtleiters als Lichtsensor gestattet es, den Detektor außerhalb der Messanordnung einzurichten und ihn so für die Bedienung einfach zugänglich zu machen oder ihn eventuell direkt mit der Auswertungseinheit zu koppeln. Eine solche Gestaltung ist z. B. für In-situ-Messungen der optischen Eigenschaften von abzuschneidenden Schichten in einer Beschichtungsanlage einsetzbar.

[0033] Sind der Lichtsender oder der Lichtempfänger weiterer Ausgestaltungen derart aufgebaut, dass die weiße innere Mantelfläche des Hohlzylinders durch einen in einen äußeren Hohlzylinder einschiebbaren inneren Hohlzylinder gebildet wird, kann die Fertigung des Hohlzylinders mit dessen spezifischer innerer Oberfläche besonders kostengünstig und flexibel erfolgen. Diese Ausgestaltung gestattet es z. B. den äußeren Hohlzylinder aus einem stabilen, gut verfügbaren Material, z. B. Stahl oder Kunststoff herzustellen und nur für den inneren, ohne Spiel passend einzuschubenden inneren Hohlzylinder das spezifische Material mit den erforderlichen optischen Eigenschaften, z. B. weißem Polytetrafluorethylen (PTFE) zu verwenden.

[0034] Die Modifikation von Lichtsender oder Lichtempfänger entsprechend der aktuellen Messaufgabe sind einfach möglich, wenn der innere Hohlzylinder in zwei oder gegebenenfalls auch mehr Hohlzylinderabschnitte unterteilt und zwischen zwei Hohlzylinderabschnitte eine Streuscheibe und/oder ein scheibenförmiger Filter einlegbar ist. Dazu entsprechen die Durchmesser der einzuführenden Scheiben dem In-

nendurchmesser des Außenzylinders und somit dem Außendurchmesser des Innenzylinders. Auf diese Weise sind die inneren Komponenten des Hohlzylinders, wie z. B. Streuscheiben und Filter baukastenartig variierbar, indem einzelne Hohlzylinderabschnitte und die Scheiben in der entsprechenden Reihenfolge in den äußeren Hohlzylinder eingeführt werden. Der Abstand zwischen den einzelnen Komponenten ist durch die Höhe einzelner oder mehrerer aneinander gefügter Hohlzylinderabschnitte herstellbar.

[0035] Eine Messeinrichtung, die unter Verwendung der beschriebenen Lichtsender oder Lichtempfänger oder beider Vorrichtungen die optischen Eigenschaften von transparenten Substraten misst, ist im Wesentlichen so aufgebaut, wie es von der Verwendung einer Integrationskugel bekannt ist, wobei jedoch sowohl der beschriebene Lichtsender als auch der beschriebene Lichtempfänger mit einem Abstand zum Substrat angeordnet werden können, ohne das Messergebnis merkbar zu beeinflussen. Aufgrund dieser möglichen Anordnung von Lichtsender und Lichtempfänger ist mit der Messeinrichtung sowohl die Transmission als auch die Reflexion oder beides gleichzeitig zu messen.

[0036] Aufgrund der charakteristischen, keulenartigen Intensitätsverteilung des von dem oben beschriebenen Lichtsender auf den zu messenden Flächenabschnitt des Substrats treffenden Lichts kann der Lichtsender in einer Messeinrichtung zur Transmissionsmessung mit einem Winkel angeordnet sein, der nur ungefähr 0° beträgt. Der Winkel, mit dem der Lichtsender angeordnet ist, ist der Winkel zwischen der optischen Achse des Hohlzylinders und der Flächennormalen der dem Lichtsender zugewandten Oberfläche des Substrats und soll im Folgenden als Einfallswinkel bezeichnet werden. Als Flächennormale wird allgemein eine solche Gerade verstanden, die senkrecht zu allen Geraden der betrachteten Fläche steht.

[0037] Aufgrund der Entfernung des Lichtsenders vom Substrat ähnelt die Intensitätsverteilung des Lichts der Verteilung, die mit einer Integrationskugel erzielt wird, so dass dann, im Gegensatz zu den bekannten, kollimiertes Licht auf das Substrat richtenden Messeinrichtungen, die genaue Einstellung eines definierten Winkels nicht mehr erforderlich ist. Damit wird der Justieraufwand für die Position und insbesondere für den Winkel des Lichtsenders wesentlich verringert und so die Handhabbarkeit der Messeinrichtung vereinfacht.

[0038] So kann bei einer solchen Ausgestaltung des Lichtsenders, mit der eine breite Keulenform der Intensitätsverteilung erzielbar ist, der Einfallswinkel im Bereich von 0° bis zu $\pm 15^\circ$ liegen. Besonders bevorzugt ist ein Einfallswinkel im Bereich von 0° bis $\pm 10^\circ$.

[0039] Die beschriebene Messeinrichtung und insbesondere der Abstand zwischen Lichtsender und Substrat sowie die Möglichkeit, den Lichtsender gegenüber der Flächennormalen der dem Lichtsender zugewandten Oberfläche des beleuchteten Substratabschnitts zu kippen, gestattet es auch, dass der Lichtsender mit solch einem Winkel angeordnet wird, dass ein weiterer Lichtempfänger im Strahlengang des vom Lichtsender ausgesendeten und vom Substrat reflektierten Lichts angeordnet ist. Damit ist in einer Messeinrichtung gleichzeitig die Transmissions- und die Reflexionsmessung möglich.

[0040] Die beschriebene Messeinrichtung gestattet auch auf einfache Weise die Realisierung von Standards für Instrumentgeometrien von optischen Messeinrichtungen, z. B. dem CIE-Standard. So beträgt der Ausfallswinkel entsprechend dem Standard CIE Diffuse/ 8° nahezu 8° bei diffuser Beleuchtung der Probe. Die Anwendung dieses Standards in der Messeinrichtung vermeidet die zuvor beschriebene Verfälschung der Messergebnisse und wird gleichzeitig der Keulenform der oben dargelegten Intensitätsverteilung des aus dem Lichtsender austretenden Lichts gerecht.

[0041] Auch zur Reflexionsmessung kann in günstiger Weise die genormte Geometrie realisiert werden, wegen der oben angeführten Beschränkung des Einfallswinkels auf maximal $\pm 15^\circ$ ebenfalls CIE Diffuse/ 8° . Dazu ist sowohl der Lichtsender mit einem Einfallswinkel von nahezu 8° als auch der weitere, an der Flächennormalen gespiegelt angeordnete Lichtempfänger mit einem vergleichbaren, aber vom Einfallswinkel abweichenden Winkel, im Folgenden als Reflexionswinkel bezeichnet, ausgerichtet, so dass der Empfänger noch im Strahlengang jenes vom Substrat reflektierten Lichts angeordnet ist.

[0042] Da alle hier beschriebenen Messungen auf dem Lambert-Beerschen Gesetz beruhen, d. h. auf der Quotientenbildung der Lichtintensität I des durch das Substrat hindurch tretenden oder vom Substrat reflektierten Lichts und der Intensität des einfallenden Lichts I_0 , erfolgt eine Verfälschung von Messergebnissen bei einer Ausrichtung eines Lichtempfängers senkrecht zur Substratoberfläche infolge jenes Anteils des Lichts, der nach Mehrfachreflexion zwischen der Substratoberfläche und der Grenzfläche des Lichtempfängers in den Empfänger trifft. Deshalb ist entsprechend einer Ausgestaltung der Messeinrichtung der Lichtempfänger in dem Strahlengang jenes das Substrat passierenden Lichts mit einem Winkel von größer 0° angeordnet, so dass nur der entsprechende Winkelanteil im Empfänger abgebildet wird. Dieser Winkel wird eingeschlossen von der Richtung des zu detektierenden Anteils des Lichts und der Flächennormale der dem Lichtempfänger zugewandten Oberfläche des Substrats. Dieser Winkel

soll im Folgenden als Ausfallswinkel bezeichnet werden.

[0043] Zum besseren Verständnis wird nachfolgend die Erfindung anhand eines Ausführungsbeispiels und einer Zeichnung näher erläutert. Dabei zeigt

[0044] [Fig. 1](#) eine Messeinrichtung zur Transmissionsmessung unter Verwendung eines Lichtsenders gemäß Anspruch 1,

[0045] [Fig. 2](#) eine Messeinrichtung zur Transmissionsmessung unter Verwendung eines Lichtempfängers gemäß Anspruch 2,

[0046] [Fig. 3](#) eine Messeinrichtung zur Transmissions- und Reflexionsmessung unter Verwendung eines erfindungsgemäßen Lichtsenders und Lichtempfängers und

[0047] [Fig. 4](#) eine Messeinrichtung zur Reflexionsmessung unter Verwendung eines Lichtsenders gemäß Anspruch 1.

[0048] Die in [Fig. 1](#) dargestellte Messeinrichtung umfasst einen Lichtsender **1** gemäß Anspruch 1, der mit seiner Lichtaustrittsöffnung **14** auf einen Lichtempfänger **2** gerichtet ist. Zwischen Lichtsender **1** und Lichtempfänger **2** befindet sich das zu messende Substrat **4**, z. B. ein Glassubstrat mit Lichtstreuendeigenschaften, das mit einem ersten Abstand a_1 zum Lichtsender **1** angeordnet ist und einem zweiten Abstand a_2 zum Lichtempfänger **2**. Im Ausführungsbeispiel ist der erste Abstand a_1 größer als der zweite Abstand a_2 , was aber nicht zwangsläufig der Fall sein muss. In einer nicht näher dargestellten Ausgestaltung der Messeinrichtung kann der Lichtsender **1** mit dem Ende des Hohlzylinders **10** direkt am Substrat **4** angeordnet werden, so dass Hohlzylinder **10** und Substrat **4** in Kontakt stehen.

[0049] Der verwendete Lichtsender **1** besteht aus einem äußeren Hohlzylinder **10**, der an beiden Grundflächen mit jeweils einem scheibenförmigen Bauteil verschlossen ist. Die Länge des äußeren Hohlzylinders **10** beträgt mehr als das Doppelte seines Durchmessers. Die dem Substrat **4** zugewandte erste Grundfläche **12** des Hohlzylinders **10** ist durch eine Streuscheibe **18** verschlossen, im Ausführungsbeispiel als gleichmäßig sandgestrahlte Glasscheibe ausgeführt. Die Streuscheibe **18** ist in den äußeren Hohlzylinder **10** formschlüssig eingepasst. Die dem Substrat **4** zugewandte Oberfläche der Streuscheibe **18** ist mit einem Abstand a_s zum Ende des Hohlzylinders **10** angeordnet, der im Ausführungsbeispiel ungefähr der Dicke der Streuscheibe entspricht aber auch davon abweichen kann. Aufgrund dieses Abstandes a_s bestünde bei der oben beschriebenen Anordnung des Hohlzylinders **10** direkt am Substrat **4**

ein Abstand a_s zwischen der Streuscheibe und dem Substrat **4**.

[0050] Die zweite Grundfläche **16** des Hohlzylinders des Lichtsenders **1** wird durch eine Grundplatte **19**, z. B. aus Kunststoff verschlossen. In die Grundplatte **19** sind zentral und mit einem Abstand zueinander zwei Lichtquellen **26**, z. B. zwei Halogenlampen eingelassen, die in den Hohlzylinder strahlen und jeweils ein durch die Grundplatte **19** nach außen geführtes Kabel **27** aufweisen.

[0051] Parallel zur Grundplatte **19** und mit einem Abstand zu den Lichtquellen **26** ist ein scheibenförmiger Blaufilter **28** eingepasst. Der Blaufilter **28** gleicht das zu gelbem Licht verschobene Spektrum der Halogenlampen etwas aus und verändert es zu einer gleichmäßigeren, flacheren Verteilung über die vorhandene Bandbreite, so dass das Spektrum besser dem verwendeten Lichtempfänger **2** angepasst ist, um dessen gleichmäßigere Aussteuerung zu erzielen.

[0052] Die Innenwandung des Hohlzylinders des Lichtsenders **1** wird durch zwei innere Hohlzylinderabschnitte **20** gebildet, deren Außendurchmesser gleichermaßen nahezu dem Innendurchmesser des äußeren Hohlzylinders **10** entsprechen. Der erste innere Hohlzylinderabschnitt **20** ist zwischen der Streuscheibe **18** und dem Blaufilter **28** eingefügt und definiert damit den Abstand zwischen beiden Komponenten. Er besteht aus weißem PTFE das den erforderlichen hohen Reflexionsgrad aufweist und die erforderliche Oberflächenrauigkeit, um diffus gestreutes Licht zu erzeugen. Alternativ kann anstelle des inneren Hohlzylinders auch die innere Oberfläche **11** des äußeren Hohlzylinders **10** mit vergleichbaren optischen Eigenschaften hergestellt sein ([Fig. 2](#)), z. B. indem der Hohlzylinder selbst aus diesem oder einem anderen geeigneten Material mit den genannten Eigenschaften hergestellt oder dessen Innenfläche entsprechend beschichtet ist. In diesem Fall entfallen ein innerer Hohlzylinder oder innere Hohlzylinderabschnitte **20** und für die Halterung von Filtern und Streuscheiben sind geeignete, nicht näher dargestellte Haltemittel im Inneren des äußeren Hohlzylinders **10** vorgesehen.

[0053] Der zweite innere Hohlzylinderabschnitt **20** des beschriebenen Beispiels ist zwischen der Grundplatte **19**, welche den äußeren Hohlzylinder **10** schließt, und dem Blaufilter **28** angeordnet. Die Länge des ersten Hohlzylinderabschnittes **20** beträgt ein Vielfaches der Länge des zweiten Hohlzylinderabschnittes **20**. Auch der zweite Hohlzylinderabschnitt **20** besteht aus weißem PTFE, was bei einem möglichst großen Verhältnis der Länge des zweiten Hohlzylinderabschnittes **20** zur Länge des ersten Hohlzylinderabschnittes **20** nicht zwangsläufig der Fall sein muss.

[0054] Der Lichtsender **1** ist so auf den Lichtempfänger **2** ausgerichtet, dass die Achse des äußeren Hohlzylinders **10**, die mit den Achsen der beiden inneren Hohlzylinderabschnitte **20** zusammenfällt, ungefähr die gleiche Richtung aufweist, wie die Flächennormale des beleuchteten Abschnittes der Substratoberfläche. Eine genaue Ausrichtung auf die Richtung der Flächennormalen ist nicht erforderlich, so dass im Beispiel eine Abweichung verbleibt und einen Einfallswinkel W_E von ungefähr 1 Grad bildet.

[0055] Zur Beleuchtung des Substrats **4** wird eine der beiden Lichtquellen **26** betrieben. Das von der jeweils aktiven Lichtquelle **26** ausgestrahlte und durch den Blaufilter **28** tretende Licht weist bereits verschiedene Ausbreitungsrichtungen auf und wird innerhalb des ersten Hohlzylinderabschnittes **20** vielfach reflektiert, so dass das auf die Streuscheibe **18** treffende Licht bereits diffusen Charakter aufweist und eine gleichmäßige Ausleuchtung der Streuscheibe **18** gewährleistet. Bei dessen Durchgang durch die Streuscheibe **18** erfolgt eine weitere Streuung, was im Ergebnis auch zur einer gleichmäßigen Ausleuchtung der Fläche der Lichteintrittsöffnung **32** des Lichtempfängers **2**, auch als Empfängerfläche bezeichnet, und zu der beschriebenen charakteristischen Intensitätsverteilung führt.

[0056] Zum Empfang des vom Lichtsender **1** ausgesandten Lichts weist der Lichtempfänger **2** als Lichtsensor **24** den Eingang eines Lichtleiters **36** mit einem Kollimator **34** auf. Auch der Lichtempfänger **2** besteht aus einem Hohlzylinder **10** dessen eine, dem Substrat **4** zugewandte Grundfläche die Lichteintrittsöffnung **32** darstellt. An diesem Ende und mit einem Abstand zum Ende ist im Hohlzylinder **10** ein Kollimator **34** eingefügt zur Änderung des Winkels des in die Lichteintrittsöffnung **32** einfallenden Lichts derart, dass er kleiner oder gleich dem Akzeptanzwinkel des Lichtleiters **36** ist, bei welchem die Weiterleitung des Lichts mittels Totalreflexion erfolgt. Es ist selbstverständlich, dass in Abhängigkeit von der Wellenlänge des Lichts oder von weiteren optischen Parametern der Messeinrichtung sowohl verschiedene Kollimatoren **34** als auch anders aufgebaute Lichtsensoren **24** einsetzbar sind. Z. B. sind als Kollimatoren **34** Linsen- oder Blendensysteme und als Lichtsensoren **24** solche auf der Basis von Fotodioden bekannt.

[0057] Der Lichtempfänger **2** ist mit einer nicht näher dargestellten Lichtdetektoreinheit verbunden, die einen Polychromator umfasst. Damit kann die Transmissionsmessung über das gesamte Wellenlängenspektrum ausgeführt werden, was die Messung der kontinuierlichen Veränderung der optischen Eigenschaften infolge der Änderung der Schichtdicke während des Abscheidens einer dünnen Schicht auf einem Trägersubstrat in einer Vakuumanlage ermöglicht. Alternativ kann die Lichtdetektoreinheit auch ein dispersives Element, insbesondere einen Monochro-

mator umfassen, so dass spektralfotometrische Messungen möglich sind.

[0058] Bekanntermaßen gibt es nicht nur einen einzigen Transmissionswert zur Charakterisierung eines Materials, sondern eine Abhängigkeit nach der Winkelverteilung der einfallenden Intensität sowie nach dem Winkelbereich, in dem die das Substrat **4** passierende, ausfallende Strahlung gemessen wird. Aufgrund letztgenannter Abhängigkeit wird der Lichtempfänger **2** mit einem definierten Austrittswinkel W_A , im beschriebenen Beispiel mit einem Winkel von 8° entsprechend dem CIE Standards Diffuse/ 8° im Strahlengang des ausfallenden Lichts positioniert. Auch der Austrittswinkel wird zwischen der optischen Achse **22**, hier des Lichtempfängers **2**, und der Flächennormalen **23** der Oberfläche des Substrats **4** gemessen. Als optische Achse **22** ist die Symmetrieachse des optischen Elements, hier des Hohlzylinders des Lichtsenders **1** oder des Lichtempfängers **2** zu verstehen. In der Regel sind die Flächennormalen **23** beider Oberflächen flacher Substrate **4** zueinander parallel. Da die Messung jedoch nicht auf Substrate **4** mit parallelen Oberflächen begrenzt sein soll, wird im Folgenden jede Winkelangabe auf die Flächennormale **23** der beleuchteten Oberfläche des Substrats **4** bezogen. Damit sind die Winkelangaben miteinander vergleichbar.

[0059] Die Ermittlung der Transmission eines Substrats **4** beruht auf der Quotientenbildung aus der Lichtintensität I des durch das Substrat **4** hindurch tretenden Lichts und der Intensität des einfallenden Lichts I_0 . Zur Ermittlung der Transmission eines Substrates wird der mit dem Substrat **4** ermittelte Messwert zu dem Messwert ins Verhältnis gesetzt, der bei gleicher Messanordnung ohne Substrat **4** ermittelt wurde, indem letzterer Wert als 100ige Transmission angenommen wird. Um den Rauschpegel infolge von Restlicht oder anderer Beeinflussung des Lichtempfängers zu ermitteln und zu berücksichtigen, erfolgt eine weitere Messung ohne Substrat **4** und mit abgedecktem Lichtsender **1**. Die Auswertung dieser Messwerte der Mess-, Referenz- und Dunkelphase zur Ableitung des winkelabhängigen Transmissionswertes erfolgt in einer geeigneten, nicht näher dargestellten Prozessoreinheit.

[0060] [Fig. 2](#) zeigt eine erfindungsgemäße Messeinrichtung unter Verwendung eines Lichtempfängers **2** gemäß Anspruch 2. Eine Messeinrichtung, die einen solchen Lichtempfänger **2** umfasst, ist so zu modifizieren, dass ein Lichtsender **1** kollimiertes Licht auf die Lichteintrittsöffnung **32** des Lichtempfängers **2** richtet und so ein vor der Lichteintrittsöffnung **32** positioniertes Substrat **4** beleuchtet. Der Lichtsender **1** besteht aus einem Hohlzylinder **10**, der an der Grundplatte **19** in seiner ersten, dem Substrat **4** abgewandten Grundfläche **12** den Ausgang eines Lichtleiters **36** als Lichtquelle **26** aufweist. Mittels des Kollima-

mators **34**, der am anderen Ende des Hohlzylinder **10** jedoch mit einem Abstand zum Ende angeordnet ist, wird Licht mit parallelem Strahlenverlauf erzeugt und auf das Substrat **4** gerichtet. Anstelle eines solchen Lichtsenders **1** kann in einer weiteren Ausführungsform auch ein anders gestalteter, konventioneller Lichtsender **1** verwendet werden, der kollimiertes Licht auf das Substrat **4** abstrahlt.

[0061] Auch der Lichtsender **1** in **Fig. 2** ist, wie zu **Fig. 1** beschrieben, zur Flächennormalen **23** des Substrats **4** leicht geneigt, so dass der Einfallswinkel W_E ca. 1° beträgt. Wie oben beschrieben beruht die Neigung des Lichtsenders **1** auf einer, im Vergleich zu den bekannten Messeinrichtungen, relativ großen Justierungstoleranz. Folglich können auch andere Neigungswinkel vorliegen oder der Einfallswinkel W_E 0° betragen kann.

[0062] Der Lichtempfänger **2** besteht aus einem Hohlzylinder **10**, dessen innere Oberfläche **11** weiß und somit diffus reflektierend ist. Die in **Fig. 2** dargestellte Messeinrichtung dient der Messung von Substraten **4** mit Licht streuenden Eigenschaften, so dass das durch das Substrat **4** hindurch getretene Licht mit solch einer Streuung in die Lichteintrittsöffnung **32** des Lichtempfängers **2** fällt, dass kein Lichtstrahl direkt von der Lichtquelle **26** auf den Lichtsensor **24** fällt und eine diffuse Reflexion innerhalb des Hohlzylinders **10** des Lichtempfängers **2** erfolgen kann. Ist diese Bedingung aufgrund der geringeren Streuwirkung des Substrats **4** nicht erfüllt, so kann der Lichtempfänger alternativ auch mit einer Streuscheibe **18** im Hohlzylinder **10** ergänzt werden.

[0063] Ungeachtet von der Verwendung einer Streuscheibe **18** ist in Abhängigkeit von der Streuwirkung des Substrats **4** die Lichteintrittsöffnung **32** so zu dimensionieren und so nah am Substrat **4** zu positionieren, dass das gesamte, durch das Substrat **4** hindurch getretene Licht detektierbar ist. Die winklige Anordnung des Lichtempfängers **2** beträgt im dargestellten Ausführungsbeispiel zur Realisierung des CIE Standards Diffuse/ 8° ebenfalls 8° .

[0064] Das auf den Messfleck, in der dargestellten Ausführungsform der Eingang eines Lichtleiters **36**, einfallende Licht wird wie oben beschrieben für die Auswertung zu einer nicht dargestellten Detektoreinheit weitergeleitet.

[0065] **Fig. 3** stellt eine Messeinrichtung dar mit einem Lichtsender **1** und einem Lichtempfänger **2** für die Transmissionsmessung sowie einem weiteren Lichtempfänger **3** für die Reflexionsmessung. Zu diesem Zweck wurde der Abstand zwischen Lichtsender **1** und Substrat **4** so gewählt und der Lichtsender **1** mit solch einem Einfallswinkel W_E angeordnet, dass es möglich ist, einen weiteren Lichtempfänger **3** im Strahlengang des vom Lichtsender **1** ausgesendeten

und vom Substrat **4** unter dem Reflexionswinkel W_R reflektierten Lichts anzuordnen. Auch zur Reflexionsmessung kann in günstiger Weise die genormte Geometrie realisiert werden, wegen der oben angeführten Beschränkung des Einfallswinkels W_E auf maximal $\pm 15^\circ$ ebenfalls CIE Diffuse/ 8° . Dazu ist sowohl der Lichtsender **1** mit einem Einfallswinkel von nahezu 8° als auch der weitere, an der Flächennormalen **23** gespiegelt angeordnete Lichtempfänger **3** mit einem vergleichbaren, aber vom Einfallswinkel W_E abweichenden Winkel (Reflexionswinkel W_R) ausgerichtet, so dass der weitere Lichtempfänger **3** noch im Strahlengang jenes vom Substrat **4** reflektierten Lichts angeordnet ist.

[0066] Auch wenn der Lichtsender **1** diffus gestreutes Licht aussendet, ist aufgrund der oben beschriebenen keulenartigen Intensitätsverteilung des abgestrahlten Lichts eine Reflexionsmessung möglich. Hierzu sind Lichtsender **1** und der weitere Lichtempfänger **3** mit einem Einfallswinkel W_E , dessen Betrag auch hier wieder kleiner als 15° beträgt, und einem Reflexionswinkel W_R auf das Substrat gerichtet, wobei beide Winkel nahezu übereinstimmen. Der weitere Lichtempfänger **3** umfasst im dargestellten Ausführungsbeispiel einen Hohlzylinder mit dem Eingang eines Lichtleiters **36** als Lichtsensor **24**. Der Lichtsensor **24** ist der Lichteintrittsöffnung **32** gegenüber liegend in der Grundplatte **19** des Hohlzylinders **10** zentrisch angeordnet. An der Lichteintrittsöffnung **32** ist eine Streuplatte **18** in den Hohlzylinder **10** eingefügt, da für die Reflexionsmessung die streuenden Eigenschaften des Substrats **4** nicht wirken. Auf diese Weise kann auch für die Reflexion die oben beschriebene charakteristische Intensitätsverteilung im Lichtempfänger erzielt werden und eine Abbildung eines Lichtreflexes direkt auf dem Lichtsensor **24** vermieden werden.

[0067] Die charakteristische Intensitätsverteilung des Lichts gestattet es, wie oben für die Transmissionsmessung dargelegt, auch in der Messeinrichtung zur Reflexionsmessung gemäß **Fig. 4**, dass Lichtaustrittswinkel W_A und Reflexionswinkel W_R geringfügig, d. h. im Bereich von wenigen Grad voneinander abweichen können. Die Größe der möglichen Differenz zwischen beiden Winkeln ist auch hier von verschiedenen Parametern der Messung abhängig, z. B. geometrischen Parametern wie dem Durchmesser der Lichtaustrittsöffnung **14** und der Lichteintrittsöffnung **32**, dem Abstand zwischen Lichtsender **1** oder Lichtempfänger **2** und Substrat **4** oder von der Wellenlänge und der Intensität des von der Lichtquelle **26** abgestrahlten Lichts, vom Reflexionsvermögen des Substrats **4** und weiteren Parametern.

[0068] An den Lichtsender **1** stehen keine anderen Anforderungen als die Aussendung kollimierten Lichts auf das Substrat **4**. Dazu wird vergleichbar dem Lichtsender in **Fig. 2** ein Hohlzylinder **10** mit ei-

ner einzelnen Lichtquelle **26**, hier einer Halogenlampe, in seiner Grundplatte **19** und einem Kollimator **34** in der Nähe der Lichtaustrittsöffnung **14** verwendet. Um das zu gelbem Licht verschobene Spektrum der Halogenlampe etwas auszugleichen ist in den Hohlzylinder **10**, nahe der Lichtquelle **26** ein Blaufilter **28** eingefügt. Auch hier kann alternativ zu dem beschriebenen auch ein anderer geeigneter Lichtsender **1** verwendet werden, der die Anforderungen an das abzustrahrende Licht erfüllt.

[0069] Der Lichtempfänger **2** zur Transmissionsmessung entspricht in dieser Ausgestaltung der Messeinrichtung im Aufbau, Funktion und Anordnung dem Lichtempfänger in [Fig. 1](#), so dass dazu auf die obigen Darlegungen verwiesen wird. Es ist lediglich beispielhaft eine Streuplatte **18** in den Hohlzylinder **10** des Lichtempfängers **2** eingefügt.

[0070] Die Messeinrichtung einer weiteren Ausgestaltung ([Fig. 4](#)) dient nur der Messung der Reflexion des Substrats **4**. Mittels eines Lichtsenders **1**, der einen Hohlzylinder **10** mit diffus streuender innerer Oberfläche **11** und an der Lichtaustrittsöffnung **14** eine Streuplatte **18** aufweist, wird diffus gestreutes Licht auf ein Substrat **4** gerichtet. Spiegelbildlich zum Lichtsender **1** mit der Flächennormalen **23** des Substrats **4** als Spiegelachse ist ein Lichtempfänger **2** angeordnet, dessen grundlegender Aufbau des Lichtempfängers aus [Fig. 1](#) entspricht. Das durch die Lichteintrittsöffnung **32** mit verschiedenartiger Ausbreitungsrichtung einfallende Licht wird durch einen Kollimator **34** parallel gerichtet und fällt auf den Lichtsensor **24**, z. B. eine Fotodiode, die mit einem Kabel **27** mit einer nicht dargestellten Auswertungseinheit verbunden ist. Der Lichtsensor **24** ist hier in der Grundplatte **19** des Lichtempfängers und somit der Lichteintrittsöffnung **32** gegenüber liegend angeordnet.

[0071] In den beschriebenen Ausführungsformen der Messeinrichtungen wurden die erfindungsgemäßen Lichtsender und Lichtempfänger in verschiedenen Kombinationen mit konventionellen Lichtsendern und Lichtempfängern für verschiedene Anwendungsfälle beschrieben. Diese Ausführungsformen stellen lediglich mögliche Beispiele hinsichtlich der Gestaltung, der Kombination und der Verwendung und keinesfalls eine abschließende Aufzählung dar. Weitere sinnvolle und durch den Fachmann im Rahmen des Inhalts der Erfindung ausführbare Modifikationen sind selbstverständlich möglich und mit umfasst.

Bezugszeichenliste

1	Lichtsender
2	Lichtempfänger
3	weiterer Lichtempfänger
4	Substrat
10	äußerer Hohlzylinder

11	innere Oberfläche
12	erste Grundfläche
14	Lichtaustrittsöffnung
16	zweite Grundfläche
18	Streuscheibe
19	Grundplatte
20	innerer Hohlzylinderabschnitt
22	optische Achse des Lichtsenders oder Lichtempfängers
23	Flächennormale
24	Lichtsensor
26	Lichtquelle
27	Kabel
28	Filter, Blaufilter
32	Lichteintrittsöffnung
34	Kollimator
36	Lichtleiter
a₁	erster Abstand
a₂	zweiter Abstand
a_s	Abstand der Streuscheibe zum Ende des Hohlzylinders
W_E	Einfallswinkel
W_A	Ausfallswinkel
W_R	Reflexionswinkel

Patentansprüche

1. Messeinrichtung zur Messung optischer Eigenschaften von transparenten Substraten (**4**), umfassend:

- einen Lichtsender (**1**), der mit einem definierten Einfallswinkel (W_E) zwischen seiner optischen Achse (**22**) und der Flächennormalen (**23**) der dem Lichtsender (**1**) zugewandten Oberfläche des Substrats (**4**) angeordnet ist und diffuses Licht zur Beleuchtung des zu messenden Substrats (**4**) aussendet, und
- zumindest einen Lichtempfänger (**2**), der im Strahlengang des vom Lichtsender (**1**) ausgesendeten und das Substrat (**4**) passierenden Lichts und mit einem Ausfallswinkel (W_A) zwischen der optischen Achse (**22**) des Lichtempfängers (**2**) und der Flächennormalen (**23**) des Substrats (**4**) angeordnet ist,
- wobei der Lichtsender (**1**) aus einem Hohlzylinder (**10**) mit einer hoch und diffus reflektierenden, im Folgenden als weiß bezeichneten inneren Oberfläche, einer im Inneren des Hohlzylinders (**10**) angeordneten Lichtquelle (**26**) und einer in der ersten Grundfläche (**12**) des Hohlzylinders (**10**) angeordneten sowie zur Lichtquelle (**26**) beabstandeten Lichtaustrittsöffnung (**14**) besteht,
- wobei die Lichtquelle (**26**) mit solch einem Abstand zur Lichtaustrittsöffnung (**14**) und mit solch einer Ausbreitungsrichtung des Lichts angeordnet ist, dass das von der Lichtquelle (**26**) ausgesendete und im Hohlzylinders (**10**) mehrfach reflektierte Licht aus der Lichtaustrittsöffnung (**14**) als diffuses Licht austritt und
- wobei der Einfallswinkel (W_E) ungleich dem Ausfallswinkel (W_A) ist.

2. Messeinrichtung zur Messung optischer Eigenschaften von transparenten Substraten (4), umfassend:

- einen Lichtsender (1), der mit einem definierten Einfallswinkel (W_E) zwischen seiner optischen Achse (22) und der Flächennormalen (23) der dem Lichtsender (1) zugewandten Oberfläche des Substrats (4) angeordnet ist und diffuses Licht zur Beleuchtung des zu messenden Substrats (4) aussendet, und
- zumindest einem Lichtempfänger (2), der im Strahlengang des vom Lichtsender (1) ausgesendeten und vom Substrat (4) reflektierten Lichts und mit einem Reflexionswinkel (W_R) zwischen der optischen Achse (22) eines der Reflexionsmessung dienenden Lichtempfängers (2, 3) und der Flächennormalen (23) des Substrats (4) angeordnet ist,
- wobei der Lichtsender (1) aus einem Hohlzylinder (10) mit einer hoch und diffus reflektierenden, im Folgenden als weiß bezeichneten inneren Oberfläche, einer im Inneren des Hohlzylinders (10) angeordneten Lichtquelle (26) und einer in der ersten Grundfläche (12) des Hohlzylinders (10) angeordneten sowie zur Lichtquelle (26) beabstandeten Lichtaustrittsöffnung (14) besteht,
- wobei die Lichtquelle (26) mit solch einem Abstand zur Lichtaustrittsöffnung (14) und mit solch einer Ausbreitungsrichtung des Lichts angeordnet ist, dass das von der Lichtquelle (26) ausgesendete und im Hohlzylinders (10) mehrfach reflektierte Licht aus der Lichtaustrittsöffnung (14) als diffuses Licht austritt und
- wobei der Einfallswinkel (W_E) ungleich dem Reflexionswinkel (W_R) ist.

3. Messeinrichtung nach einem der Ansprüche 1 oder 2, wobei der Lichtsender mit einem Abstand zum Substrat (4) angeordnet ist.

4. Messeinrichtung zur Messung optischer Eigenschaften von transparenten Substraten (4), umfassend:

- einen Lichtsender (1), der mit einem definierten Einfallswinkel (W_E) zwischen seiner optischen Achse (22) und der Flächennormalen (23) der dem Lichtsender (1) zugewandten Oberfläche des Substrats (4) angeordnet ist und diffuses Licht zur Beleuchtung des zu messenden Substrats (4) aussendet, und
- zumindest einen Lichtempfänger (2), der mit einem Abstand zum Substrat (4) im Strahlengang des vom Lichtsender (1) ausgesendeten und das Substrat (4) passierenden Lichts und mit einem Ausfallswinkel (W_A) zwischen der optischen Achse (22) des Lichtempfängers (2) und der Flächennormalen (23) des Substrats (4) angeordnet ist,
- wobei der Lichtempfänger (2) aus einem Hohlzylinder (10) mit einer hoch und diffus reflektierenden, im Folgenden als weiß bezeichneten inneren Oberfläche, einem im Inneren des Hohlzylinders (10) angeordneten Lichtsensor (24) und einer in der ersten Grundfläche (12) des Hohlzylinders (10) angeordne-

ten sowie zum Lichtsensor (24) beabstandeten Lichteintrittsöffnung (32) besteht,

- wobei der Lichtsensor (24) mit solch einem Abstand zur Lichteintrittsöffnung (32) und mit solch einer Einfallrichtung des Lichts angeordnet ist, dass das in die Lichteintrittsöffnung (32) eintretende und im Hohlzylinders (10) mehrfach reflektierte Licht auf den Lichtsensor (24) als diffuses Licht trifft und
- wobei der Einfallswinkel (W_E) ungleich dem Ausfallswinkel (W_A) ist.

5. Messeinrichtung zur Messung optischer Eigenschaften von transparenten Substraten (4), umfassend:

- einen Lichtsender (1), der mit einem definierten Einfallswinkel (W_E) zwischen seiner optischen Achse (22) und der Flächennormalen (23) der dem Lichtsender (1) zugewandten Oberfläche des Substrats (4) angeordnet ist und diffuses Licht zur Beleuchtung des zu messenden Substrats (4) aussendet, und
- zumindest einem Lichtempfänger (2), der mit einem Abstand zum Substrat (4) im Strahlengang des vom Lichtsender (1) ausgesendeten und vom Substrat reflektierten Lichts und mit einem Reflexionswinkel (W_E) zwischen der optischen Achse (22) eines der Reflexionsmessung dienenden Lichtempfängers (2, 3) und der Flächennormalen (23) des Substrats (4) angeordnet ist,
- wobei der Lichtempfänger (2) aus einem Hohlzylinder (10) mit einer hoch und diffus reflektierenden, im Folgenden als weiß bezeichneten inneren Oberfläche, einem im Inneren des Hohlzylinders (10) angeordneten Lichtsensor (24) und einer in der ersten Grundfläche (12) des Hohlzylinders (10) angeordneten sowie zum Lichtsensor (24) beabstandeten Lichteintrittsöffnung (32) besteht,
- wobei der Lichtsensor (24) mit solch einem Abstand zur Lichteintrittsöffnung (32) und mit solch einer Einfallrichtung des Lichts angeordnet ist, dass das in die Lichteintrittsöffnung (32) eintretende und im Hohlzylinders (10) mehrfach reflektierte Licht auf den Lichtsensor (24) als diffuses Licht trifft und
- wobei der Einfallswinkel (W_E) ungleich dem Reflexionswinkel (W_R) ist.

6. Messeinrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der Einfallswinkel (W_E) im Bereich von 0° bis $\pm 15^\circ$ liegt.

7. Messeinrichtung nach Anspruch 6, wobei der Einfallswinkel (W_E) vorzugsweise im Bereich von 0° bis $\pm 10^\circ$ liegt.

8. Messeinrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Ausfallswinkel (W_A) größer 0° ist.

9. Messeinrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass der Ausfallswinkel (W_A) nahezu 8° beträgt.

10. Messeinrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Lichtaustrittsöffnung (14) bzw. die Lichteintrittsöffnung (32) mit einer transparenten, das Licht streuenden Platte, im Folgenden als Streuscheibe (18) bezeichnet, vollständig abgedeckt ist.

11. Messeinrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei im Hohlzylinder (10) parallel zur ersten Streuscheibe (18) und mit einem Abstand zu dieser eine zweite Streuscheibe (18) derart angeordnet ist, dass das durch die Lichtaustrittsöffnung (14) austretende bzw. durch die Lichteintrittsöffnung (32) eintretende Licht auch die zweite Streuscheibe (18) passiert hat.

12. Messeinrichtung nach einem der Ansprüche 10 oder 11, wobei zumindest eine Streuscheibe (18) ein holografischer Diffuser ist.

13. Messeinrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 12, wobei zumindest eine Streuscheibe (18) eine gleichmäßig sandgestrahlte Glas- oder Kunststoffscheibe ist.

14. Messeinrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Lichtaustrittsöffnung (14) bzw. die Lichteintrittsöffnung die Größe der ersten Grundfläche (12) der Innenfläche des Hohlzylinders (10) aufweist.

15. Messeinrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 14, wobei die zweite Streuscheibe (18) die Größe der ersten Grundfläche (12) der Innenfläche des Hohlzylinders (10) aufweist.

16. Messeinrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Lichtquelle (26) bzw. der Lichtsensor (24) in der ersten Grundfläche (12) gegenüberliegenden zweiten Grundfläche (16) angeordnet ist.

17. Messeinrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei im Hohlzylinder (10) im Strahlengang des Lichts zumindest ein Filter (28) angeordnet ist.

18. Messeinrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei eine Lichtquelle (26) der Ausgang bzw. ein Lichtsensor (24) der Eingang eines Lichtleiters (36) ist.

19. Messeinrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die weiße innere Mantelfläche des Hohlzylinders (10) durch zumindest einen in einen äußeren Hohlzylinder einschiebbaren inneren Hohlzylinder gebildet wird.

20. Messeinrichtung nach Anspruch 19, wobei der innere Hohlzylinder durch zwei innere Hohlzylinderabschnitte (20) gebildet wird und zwischen zwei in-

neren Hohlzylinderabschnitte (20) eine Streuscheibe (18) und/oder ein scheibenförmiger Filter (28) einlegbar ist.

21. Messeinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3 oder 6 bis 20, dadurch gekennzeichnet, dass im Hohlzylinder (10) eine zweite, unabhängig von der ersten betriebsfähige Lichtquelle (26) derart angeordnet ist, dass auch das von der zweiten Lichtquelle (26) ausgesendete Licht im Hohlzylinder (10) mehrfach reflektiert wird und aus der Lichtaustrittsöffnung (14) als diffuses Licht austritt.

22. Messeinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3 oder 6 bis 21, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest eine Lichtquelle (26) monochromatisches Licht aussendet.

23. Messeinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3 oder 6 bis 21, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest eine Lichtquelle (26) polychromatisches Licht aussendet.

24. Messeinrichtung nach einem der Ansprüche 3, 4 oder 6 bis 20, dadurch gekennzeichnet, dass der Lichtsensor einen Eingang eines Lichtleiters mit einem Kollimator umfasst.

25. Messeinrichtung nach einem der Ansprüche 3, 4, 24 oder 6 bis 20, dadurch gekennzeichnet, dass der Lichtsensor eine flächige Anordnung von mehreren Sensorelementen umfasst.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG 1

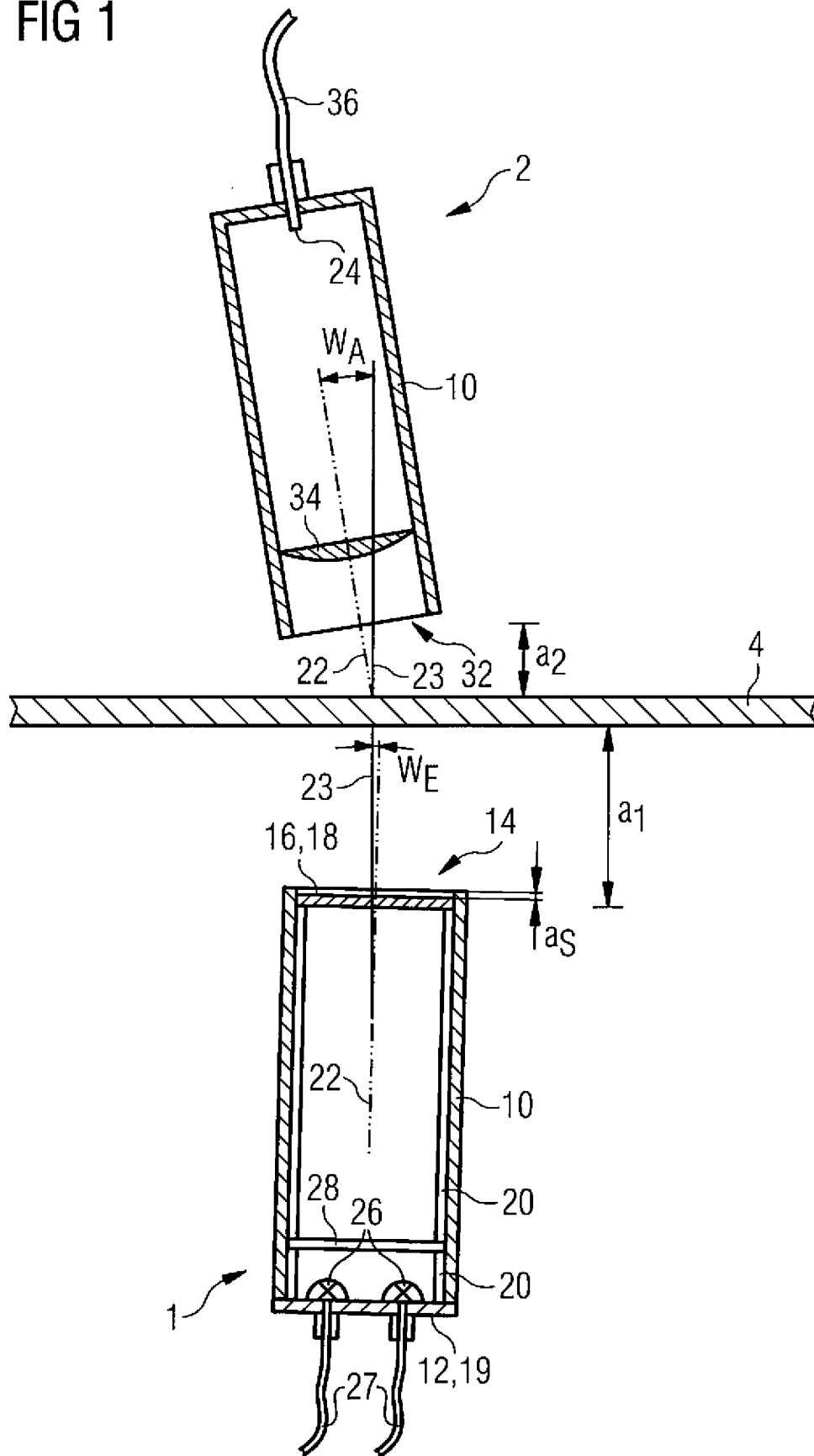


FIG 2

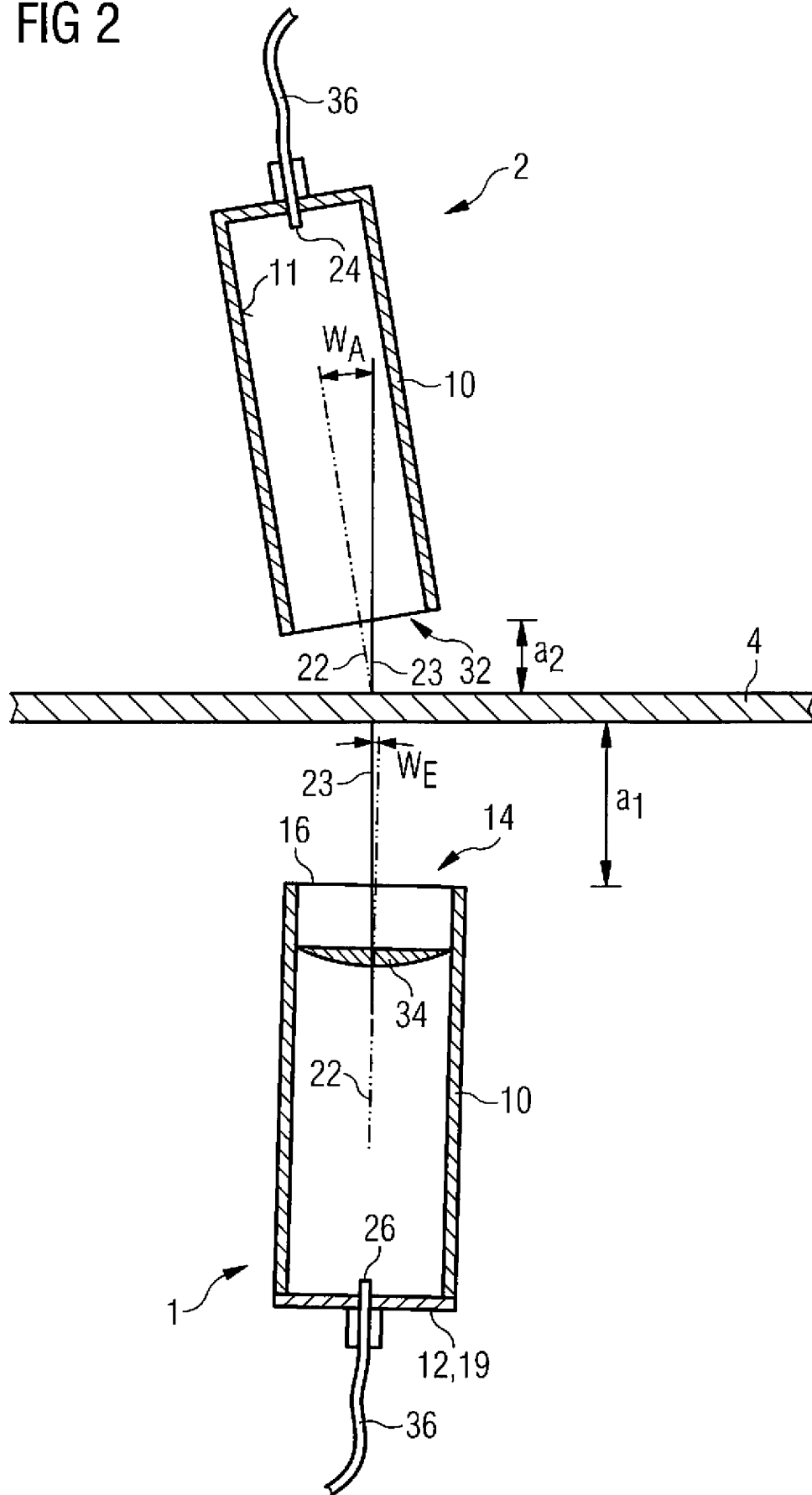


FIG 3

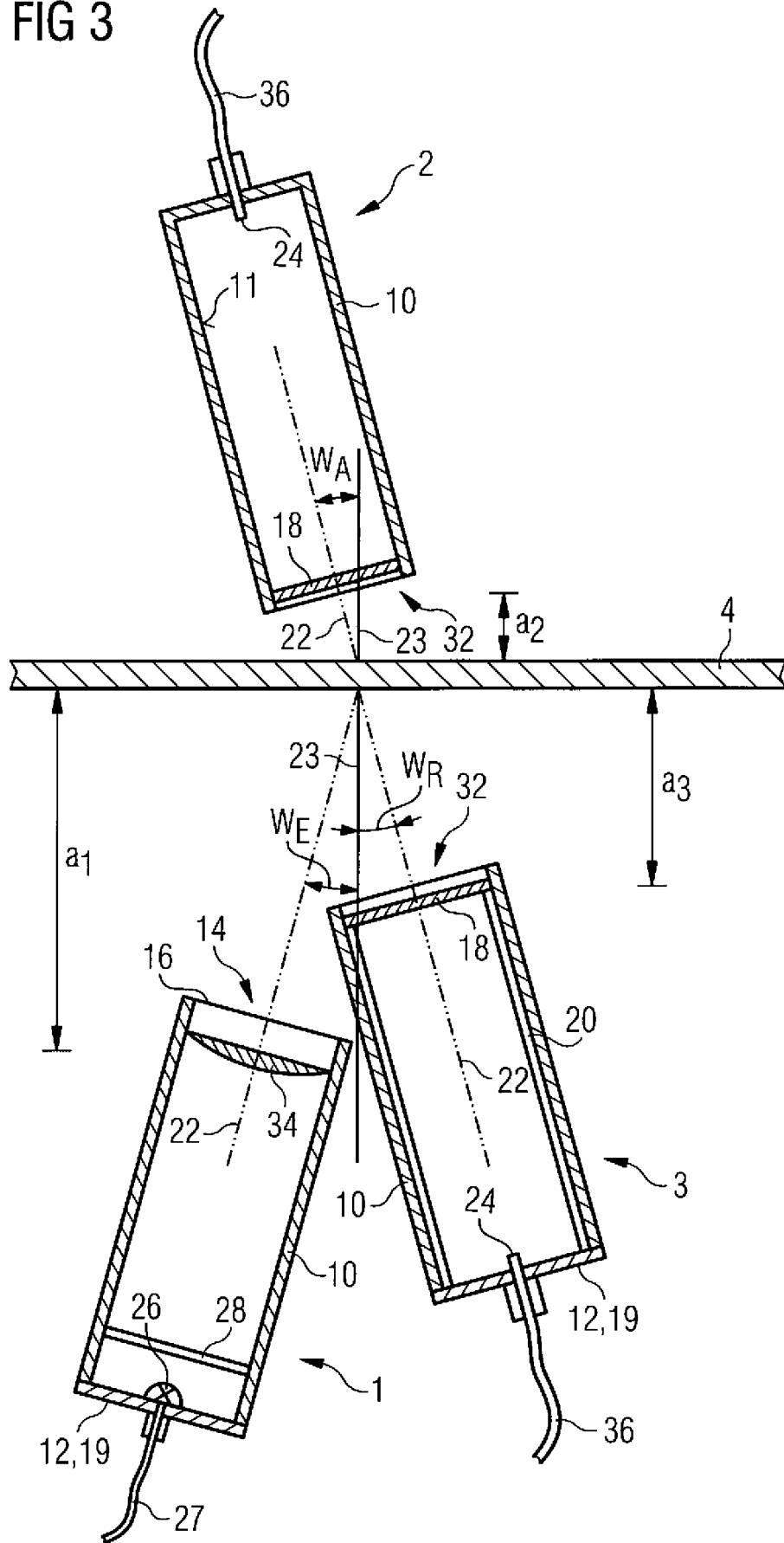


FIG 4

