

DE 000019805853 B4

Anmeldeland: DE
Anmeldenummer: 19805853
Anmeldedatum: 13.02.1998
Veröffentlichungsdatum: 11.03.2004
Priorität: DE 19712452 25.03.1997
Hauptklasse: G01N 21/41
MCD-Nebenklasse: G01N 21/41(2006.01,A)
CPC: G01N 21/41
CPC: G01N 21/4133
ECLA: G01N 21/41
ECLA: G01N 21/41 D
Entgegenhaltung (PL): DE 000002616141 A1
Entgegenhaltung (PL): EP 000000779507 A1
Entgegenhaltung (PL): EP 000000819931 A2
Erfinder: Schmekel, Björn, 95463 Bindlach, DE
Anmelder: Schmekel, Björn, 95463 Bindlach, DE

[DE]Verfahren und Vorrichtung zur Messung des Brechungsindex und/oder der Lichtstrahlwinkel an einer Mediumgrenze

Seite 2 --- ()

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Messung des Brechungsindex und/oder der Lichtstrahlwinkel an einer Mediumgrenze.

[0002] Im Prinzip sind folgende Verfahren zur Messung des Brechungsindex bekannt: 1. Totalrefraktometer (z.B. nach Abbe), bei denen der Grenzwinkel der Totalreflexion durch Beobachtung des gebrochenen Strahles gemessen wird. 2. Interferenzrefraktometer nach Jamin, bei denen die Probe und eine Referenzprobe durchleuchtet werden, wobei der optische Gangunterschied gemessen wird. 3. Die Messung des Einfallswinkels und des Winkels des gebrochenen Strahls. 4. Eine Einbettungsmethode, bei der ein Kristallpulver in Flüssigkeiten mit verschiedenen Brechungsindizes unter einem Polarisationsmikroskop betrachtet wird und dann, wenn das Pulver nicht mehr sichtbar ist, durch die Übereinstimmung des Brechungsindex mit dem der Flüssigkeit der des Kristallpulvers bestimmt ist.

[0003] Andere Sensoren sind, wie in der Literaturstelle "Marktplatz Messen", Martin Klein, ELRAD 10/93, S. 40ff, Heise-Verlag, zu entnehmen ist, z.Zt. nicht auf dem Markt verfügbar.

[0004] Die obengenannten Verfahren zu 1) bis 3) haben ein Problem gemeinsam; sie setzen voraus, daß der gebrochene Strahl zugänglich ist. Dies ist jedoch nicht in allen Fällen der Fall, z.B. in dem Fall, daß eine Glasfaser mit durchsichtigem Kleber an einem Fototransistor mit Glasfenster oder eine Fotodiode befestigt werden soll, oder z. B. ein Photomultiplier an einen abgeschirmten CsJ(Tl)-Kristall befestigt werden soll.

[0005] Um unnötige Reflexionsverluste zu vermeiden, sollte der Brechungsindex des Klebers mit dem des Glasfensters bzw. des Kristalls übereinstimmen. Weil der gebrochene Strahl aber unzugänglich ist, können obengenannte Methoden 1 - 3 nicht verwendet werden.

[0006] Käufliche Szintillatoren sind manchmal bereits gegen Fremdlicht geschützt und in ein schwarzes Gehäuse untergebracht, so daß nur ein Ende zum Anschluß des Fotomultipliers sichtbar ist.

[0007] Andere Materialien wirken stark absorbierend, so daß insbesondere bei dunklen dichten Werkstücken ein gebrochener Strahl kaum noch oder gar nicht mehr vorhanden ist.

[0008] Eine hohe Intensität aber, wie sie mit einem starken Laser leicht erreichbar ist, führt schnell zu Effekten der nichtlinearen Optik, es findet dann nur Transmission ohne Brechung statt. Eine Messung von ϵ und μ kann ebenfalls nicht durchgeführt werden, weil sich beispielsweise beim Phototransistor das Gehäuse störend auswirkt.

[0009] Das vierte der obengenannten Verfahren ist nicht zerstörungsfrei durchführbar.

[0010] Aus der DE 26 16 141 A1 ist zwar ein Verfahren bekannt, das es gestattet, bei der Herstellung von integrierten Schaltungen die Dicke und/oder den Brechungsindex von sehr dünnen Schichten ohne Zugriff auf den gebrochenen Strahl zu ermitteln. Jedoch wird in dieser Druckschrift die Messung des Brechungsindex bei Gasen und Flüssigkeiten nicht behandelt.

[0011] Aufgabe der Erfindung ist es daher, die Bestimmung des Brechungsindex bei Gasen und Flüssigkeiten ohne Zugriff auf den gebrochenen Strahl zu ermöglichen.

[0012] Erfindungsgemäß wird dies durch die Merkmale des Anspruches 1 gelöst. Die Unteransprüche geben vorteilhafte Ausführungsform der Erfindung wieder.

[0013] Insbesondere ist vorteilhaft, daß es keiner Zerstörung des Werkstückes bedarf, und daß das Gerät um Genauigkeit und Störanfälligkeit zu verbessern, so konzipiert worden ist, daß nur wenige Größen gemessen werden müssen. Bis auf eine Ausnahme kommt das Gerät dabei ohne die Messung von mechanischen Größen aus. Es eignet sich daher auch als elektronischer Sensor für den Brechungsindex.

[0014] Die Genauigkeit hängt dabei wesentlich von der verwendeten Elektronik ab und läßt sich prinzipiell mit hochwertigen Bauteilen ohne grundlegende Veränderung am Prinzip noch erhöhen.

[0015] Das erfindungsgemäße Verfahren besteht nun darin, daß entweder polarisiertes Licht in einen Werkstoff eingebracht wird, wobei die Richtung der Polarisierung während der Messung einmal im wesentlichen vollständig von 0 bis 360 Grad gedreht wird, und der Intensitätsverlauf des reflektierten Strahls gemessen wird; daraufhin aus dem Intensitätsverlauf einer Drehung die Maxima E_{rs} und E_{rp} bestimmt werden, woraufhin man durch Lösung der Fresnelschen Gleichungen mit den Abkürzungen $Q_s = -E_{rs} / E_{es} = (I_{rs} / I_{es})^{1/2}$

Seite 3 --- ()

und $Q_p = -E_{rp} / E_{ep} = (I_{rp} / I_{ep})^{1/2}$ die Winkel α und β , also den Einfallswinkel zum Lot und den Winkel zwischen dem gebrochenen Strahl und dem Lot als $\alpha = \arctan((1 - Q) / ((Q + 1) \cdot \tan \beta))$ und $\beta = \arctan((Q_s - Q_p + (Q_p/Q_s) - 1) / (-Q_s - Q_p - (Q_p/Q_s) - 1))^{1/2}$ errechnen kann. Die genaue Herleitung und Definition der Zeichen ist in der Anlage ausgeführt.

[0016] Damit kann der Brechungsindex zu $n = \left(\frac{(Q_s + 1)(Q_s - Q_p)}{c(Q_s - 1)(Q_p + Q_s)} \right)^{1/2}$ errechnet werden.

[0017] Es sind also die Intensitätskomponenten I_{sr} , I_{es} ; I_{rp} , I_{ep} für die Bestimmung der oben definierten Quotienten Q_s und Q_p zu bestimmen. Die Gesamtintensität wäre dabei dem Quadrat des elektrischen Feldstärkevektors proportional ($I \sim E$). Für die Intensitätskomponentenmessung senkrecht und parallel zur Einfallsebene wird nun linear polarisiertes Licht gemessen.

[0018] Wenn ϕ ; der Winkel zwischen Polarisationssebene und Grundplatte ist, ergibt sich als Intensitätsverlauf also $I(\phi) = k(E_s \sin\phi)^2 + k(E_p \cos\phi)^2$ (wie dies in **Fig. 2** dargestellt wird). Diese Kurve hat ein Maximum oder Minimum dort, wo der elektrische Feldstärkevektor genau senkrecht oder parallel zur Einfallsebene ist. Was nun bezüglich I_{rs} und I_{rp} Maximum und Minimum ist, kann durch Probieren festgestellt werden. Nur eine Variante gibt sinnvolle Lösungen.

[0019] Alternativ hierzu ist es auch möglich, statt einer polarisierten Lichtquelle, die sich dreht, einen sich drehenden Polarisator vor einer unpolarisierten Lichtquelle zu verwenden oder eine stationäre wechselstrombetriebene Kerr-Zelle statt des sich drehenden Polarisators zu verwenden.

[0020] Auch ist es möglich, einen unpolarisierten Einfallstrahl zu verwenden und den reflektierten Strahl mit einem drehenden Polarisator zu polarisieren. Auch hier kann eine Kerr-Zelle Verwendung finden.

[0021] Weiter kann das gleiche Verfahren zur Einfallswinkelmessung verwendet werden, wenn der Brechungsindex bekannt ist und falls man den Energieverlust im Material vernachlässigt, auch für die Einfallswinkelmessung bei unbekanntem Brechungsindex. Entsprechende Formeln finden sich am Schluß der Beschreibung.

[0022] Weitere Vorteile und der Erfindung ergeben sich aus nachfolgender Beschreibung eines bevorzugten Ausführungsbeispiels anhand der beigefügten Zeichnung.

[0023] Dabei zeigt

[0024] **Fig. 1** eine schematische Darstellung der Vorrichtung, bei der auf ein Objekt mit einer Laserdiode ein Lichtstrahl aufgebracht wird, und zur Messung der Intensität der Kurzschlußstrom der Photodiode gemessen wird, und

[0025] **Fig. 2** den Intensitätsverlauf für die Formel $I(\phi) = k(E_s \sin\phi)^2 + k(E_p \cos\phi)^2$ bei $k=0,4$, $E_s=2$ und $E_p=3$.

[0026] In der **Fig. 1** ist dargestellt, wird das von einer Laserdiode 10 auf ein Objekt 12 abgestrahlte Licht im wesentlichen reflektiert und von einer weiteren Fotodiode 14 aufgefangen. Über einen Verstärker 16 wird dieses Signal an einen AD-Wandler 20 und weiter an einen Computer 22 gegeben, wodurch sich der dargestellte Intensitätsverlauf des reflektierten Strahls ermitteln läßt. Mit Bezugszeichen 18 ist eine Konstantstromquelle für die Laserdiode 10, mit Bezugszeichen 24 ein Motor zum Drehen der polarisierte Licht erzeugenden Diode bezeichnet.

[0027] Bei einem Einfallswinkel von 40° und einem Glasfenster einer Fotodiode, die nur von "oben" zugänglich ist, sind beispielsweise Bemittelte Maxima von 6,35 Volt erreicht worden, während die Minima 1,25 Volt betragen. Weil die Spannung proportional zur Intensität ist, kann man von den beiden Spannungen den Quotienten bilden, welcher 0,2 beträgt, was nach dem Wurzelziehen unter Verwendung der obengenannten Formeln ungefähr 1,5 ergibt. Es dürfte sich daher um ein normales Glasfenster handeln. Der zu 0,2 reziproke Wert (5,08) gibt den sogenannten negativen Brechungsindex.

[0028] Da zur Messung der Intensität der Kurzschlußstrom der Photodiode gemessen wird, ist eine Proporti

Seite 4 --- ()

onalität zur Intensität des einfallenden Lichtes gegeben. Dazu wird ein niederohmig beschalteter Verstärker mit FET-Eingängen verwendet. Die Vorsehung eines weiteren digitalen Filters kann dabei sinnvoll sein.

[0029] Bei der Lichtquelle handelt es sich um eine Laserdiode, die einfach auf einem Elektromotor montiert werden kann und linear polarisiertes Licht aussendet, so daß kein Polarisator erforderlich ist.

[0030] Statt des Elektromotors kann die Drehung jedoch auch durch einen Kristall erreicht werden, der über elektronisch angelegte Spannung eine Drehung des Feldstärkevektors bewirkt. Beiden Lichtquellen ist der Vorteil gemein, daß monochromatisches Licht mit geringer Divergenz ausgestrahlt wird, so daß der Kalibrierungsaufwand minimal ist und sich der Brechungsindex auf eine bestimmte Wellenlänge bezieht.

[0031] Die in der **Fig. 2** dargestellte Kurve besitzt dort ein Minimum oder Maximum, wo der elektrische Feldstärkevektor genau senkrecht oder genau parallel zur Einfallsebene ist. Zwischen diesem Maxima und Minima liegen keine weiteren Extrema. Zur Bestimmung von I_{rs} und I_{rp} muß sich der elektrische Feldstärkevektor nur kontinuierlich drehen, während der Intensitätsverlauf von einem Computer aufgezeichnet wird.

[0032] Anschließend müssen nur die Maxima und Minima der Kurve bestimmt werden, wobei durch einfaches Einsetzen die Unterscheidung Maximum/Minimum möglich ist, da nur eine Möglichkeit physikalisch sinnvolle Werte ergibt.

[0033] In der Wahl des Einfallswinkels ist man prinzipiell frei. Um die Genauigkeit jedoch zu erhöhen ist es von Vorteil, dass Q_1 möglichst groß ist. Setzt man daher $\phi = \arcsin(\sin a/n)$ in den Fresnelschen Gleichungen ein, so erhält man an den Orten, wo nach dem Brewsterschen Gesetz ($n = \tan\phi$) vollständige Polarisation ergibt, besonders hohe Werte des Betrages von $1/Q$.

[0034] Anlage:

Herleitung der Formeln

[0035] Verwendete Formelzeichen

ϕ ; Einfallswinkel gemessen zum Lot

θ ; Winkel zwischen dem (ebrochenen Strahl und Lot

E Betrag des elektrischen Feldstärkevektors E-

I Intensität (skalare Größe)

E_s, E_p, E_r, E_e, e kennzeichnet den einfallenden Strahl, r den reflektierten.

I_{rs}, I_{es}, I_{rp}, I_{ep} s kennzeichnet die Komponente, die senkrecht zur Einfallsebene steht.

μ kennzeichnet die Komponente, die parallel zur Einfallsebene berichtet ist.

Seite 5 --- ()

Seite 6 --- ()

Verfahren zur Messung des Brechungsindex und/oder der Lichtstrahlwinkel an einer Mediumgrenze, mit

Seite 7 --- ()

den Schritten

- Einbringen polarisierten Lichts in das zu prüfende Medium,
- Drehen des polarisierten Lichts um die Strahlachse beim einfallenden oder reflektierten Strahl,
- Ermittlung im reflektierten Strahl der Maxima I_{rs} und I_{rp} des elektrischen Feldstärkevektors senkrecht und parallel zur Einfallsebene, dadurch gekennzeichnet,
dass ein Lichtwellenleiter zur Einbringung von Lichtstrahlen in ein Stück Glas oder Plexiglas vorgesehen ist, dass das Glas oder Plexiglas mit einem zu untersuchenden Medium in Verbindung steht, dass das zu untersuchende Medium ein Gas oder eine Flüssigkeit ist, und dass aus den ermittelten Maxima I_{rs} und I_{rp} der Brechungsindex des Gases oder der Flüssigkeit ermittelt wird und/oder die Lichtstrahlwinkel ermittelt werden. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, wobei vorgesehen sind:
- Mittel zum Einbringen polarisierten Lichts in das zu prüfende Medium,
- Mittel zum Drehen des polarisierten Lichts um die Strahlachse beim einfallenden oder reflektierten Strahl,
- Mittel zur Ermittlung im reflektierten Strahl der Maxima I_{rs} und I_{rp} des elektrischen Feldstärkevektors senkrecht zur und parallel zur Einfallsebene, dadurch gekennzeichnet,
dass ein Lichtwellenleiter zur Einbringung von Lichtstrahlen in ein Stück Glas oder Plexiglas vorgesehen ist,
dass das Glas oder Plexiglas mit einem zu untersuchenden Medium in Verbindung steht,
dass das zu untersuchende Medium ein Gas oder eine Flüssigkeit ist, und
dass aus den ermittelten Maxima I_{rs} und I_{rp} der Brechungsindex des Gases oder der Flüssigkeit und/oder die Lichtstrahlwinkel ermittelt werden.
Vorrichtung nach Anspruch 2, gekennzeichnet durch eine polarisiertes Licht abgebende Lichtquelle, wobei sich die Lichtquelle dreht. Vorrichtung nach Anspruch 2, gekennzeichnet durch einen sich drehenden Polarisator vor dem zu untersuchenden Medium. Vorrichtung nach Anspruch 2, gekennzeichnet durch eine stationäre Kerr-Zelle zur Bewirkung einer Drehung des Einfallsfeldstärkevektors. Vorrichtung nach Anspruch 2, gekennzeichnet durch eine Polarisierereinrichtung im reflektierten Strahl, wobei deren Polarisationsrichtung drehbar ist. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 2 bis 6, gekennzeichnet durch eine Einrichtung zur Messung des Einfallswinkels. Vorrichtung nach Anspruch 2, gekennzeichnet durch einen Kristall im Strahlengang, in dessen elektrischem, durch elektronische Mittel induzierten Feld sich das polarisierte Licht einer Lichtquelle dreht. Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

Seite 8 --- ()

Seite 9 --- ()