



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

12 **Gebrauchsmuster**
10 **DE 297 21 030 U 1**

51 Int. Cl. 6:
G 01 J 3/45
// G 01 N 21/45

21	Aktenzeichen:	297 21 030.0
22	Anmeldetag:	27. 11. 97
47	Eintragungstag:	22. 1. 98
43	Bekanntmachung im Patentblatt:	5. 3. 98

DE 297 21 030 U 1

73 Inhaber:
O.K. Tec Optik Keramik Technologie GmbH, 07745
Jena, DE

74 Vertreter:
Meissner, Bolte & Partner, 80538 München

54 Interferometer nach Michelson

DE 297 21 030 U 1

O.K.Tec
Optik Keramik Technologie GmbH
Wildenbruchstraße 15
07745 Jena

27. November 1997
M/OKT-018-DE
MB/KR/kh

Interferometer nach Michelson

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Interferometer nach Michelson der im Oberbegriff des Anspruches 1 genannten Art.

5 Bekannte Interferometer beruhen meist auf dem Prinzip nach Michelson. Durch einen Strahlteiler wird Licht ein und derselben Quelle in zwei vorteilhafterweise gleichintensive Teilstrahlen aufgespaltet und zwischen diesen Teilstrahlen eine optische Weglängendifferenz $\Delta L = n_1 l_1 + n_2 l_2$ (im weiteren kurz Weglängendifferenz) erzeugt. Dabei durchlaufen
10 beide Teilstrahlen meist Gebiete gleicher Brechzahlen $n_1 = n_2$, wobei sie unterschiedliche Wege $l_1 \neq l_2$ zurücklegen. Die Wiedervereinigung beider Teilstrahlen führt zu einem System von Interferenzstreifen, deren Lage und Form unter Berücksichtigung der Geometrie der Strahlen und der Wellenlänge für
15 die erzeugte Weglängendifferenz charakteristisch ist.

Hauptnachteil dieser Anordnungen ist die hohe Empfindlichkeit gegen Dejustierungen, insbesondere gegen eine unexakte Führung der Spiegel (ruckweise Bewegungen, Verkippungen) und äußere
20 Einflüsse (z.B. Vibrationen), so daß insbesondere für Wellenlängen im sichtbaren oder nahinfraroten Spektralbereich ein erheblicher apparativer Aufwand erforderlich ist, um solche Störungen zu vermeiden. Weiterhin besitzen oben genannte Interferometer den Nachteil, daß zur periodischen Veränderung
25 der Weglängendifferenzen Massen periodisch linear hin und zurückbewegt werden müssen. Sollen nun Interferogramme in kurzen Zeitabständen aufgenommen werden, so sind dazu hohe

Beschleunigungen erforderlich. Um die Trägheit der bewegten Teile zu überwinden sind deshalb sehr hohe Kräfte aufzuwenden. Die dazu erforderlichen Antriebsleistungen verbrauchen große Energien und erzeugen entsprechend Abwärme, die zu Instabilitäten und Driften im Interferometer führen können. Darüber hinaus führen die hohen Kraftaufwendungen zu erheblichen dynamischen Belastungen der bewegten Bauteile, die sich in deren Folge reversibel oder irreversibel verformen können. Diese Verformungen sind wiederum Ursache für Instabilitäten und Driften. Gleichzeitig steigt mit der Höhe der aufzuwendenden Kraft die Belastung der Führungen bzw. Lager der Bewegung, was zu erhöhtem Verschleiß der Interferometer und damit - besonders bei im Dauerbetrieb arbeitenden interferometrischen Meßgeräten - zu frühzeitigen Ausfällen führen kann.

Abhilfe gegenüber den Nachteilen der Interferometer mit periodisch translatorisch bewegten Elementen bieten Anordnungen, bei denen die Erzeugung der Weglängendifferenz auf der Rotation von Bauteilen beruht. So sind in EP 91102253.1, DE 4013399 und DE 4136300.0 Interferometer beschrieben, die auf der Verwendung des Prinzips nach Michelson beruhen, bei der jedoch als Reflektor ein exzentrisch rotierender Tripelreflektor (Tripelspiegel oder Tripelprisma) Verwendung findet. Nachteil dieser Interferometer wiederum ist die hohe Dejustageempfindlichkeit z.B. in Folge äußerer Einflüsse (Stöße, Vibrationen) oder der exzentrischen Rotation der beiden Interferometerarme. Praktische Erfahrungen zeigen, daß Winkeländerungen der beiden Teilstrahlenbündel im Winkelsekundenbereich gegeneinander Auswirkungen auf die Meßgenauigkeit haben. Gleichzeitig werden durch die schnelle Bewegung des rotierenden Tripelreflektors (meist Tripelspiegels) Druckwellen innerhalb des die Anordnung füllenden Gases erzeugt, die (z.B. in Luft gemäß der Edlén-Formel) die Brechzahl dieses Mediums modulieren und damit ebenfalls zu Winkelfehlern der beiden Teilstrahlenbündel gegeneinander führen können. Diese Winkelfehler wiederum wirken sich direkt auf den Kontrast des Interferogramms und damit auf die Signalqualität und das Signal-Rausch-Verhältnis der Interferometer aus.

Die oben beschriebenen Interferometer sind vielfältig nutzbar, so beispielsweise für die Messung der spektralen Verteilung elektromagnetischer Strahlung vorwiegend des sichtbaren, des nahinfraroten und des mittelinfraroten Spektralbereichs (nachfolgend Licht genannt). Durch Messung und Analyse der spektralen Verteilung des Lichts (Fouriertransformations-spektroskopie) können Stoffe analysiert und Konzentrationen von Ingredienzen bestimmt werden. Besonders durch die Fortschritte der Technologie der Lichtwellenleiter und der lichtwellenleitergekoppelten Sonden ist es möglich geworden, Licht zu den Prozessen zu führen und so Analysen on line und in situ durchzuführen. Durch die enormen Fortschritte in der Computertechnik sind Analysen auch in Echtzeit mit Meßzeiten von deutlich unter einer Sekunde möglich.

Durch Meßvorhaben in schnellen Prozessen, an Fließbändern oder in Rohrleitungen hoher Transportgeschwindigkeiten einerseits und durch das vorhandene Erfordernis, das Signal-Rausch-Verhältnis der Messungen durch eine höhere Anzahl von Mitteilungen zu verbessern, ergeben sich die Forderungen nach immer höheren Meßgeschwindigkeiten. Der Dauereinsatz solcher Interferometer in permanent arbeitenden Geräten zur Prozeßsteuerung oder Qualitätskontrolle erhöht gleichzeitig die Anforderungen an die Verschleißfestigkeit.

Es ist daher Aufgabe der Erfindung, ein Interferometer anzugeben, das die Nachteile des oben genannten Standes der Technik vermeidet.

Die Lösung der Aufgabe der Erfindung erfolgt mit einem Gegenstand gemäß Schutzanspruch 1, wobei die Unteransprüche mindestens zweckmäßige Ausgestaltungen oder Weiterbildungen umfassen.

Die Probleme der Winkelabweichungen der aus den Interferometerarmen zurückkommenden Strahlenbündel werden dadurch vermieden, daß beide Teilstrahlenbündel durch einen Tripelreflektor als die Interferometerarme abschließenden Reflektor

zurückgeworfen werden. Dadurch werden Winkelabweichungen, wie sie z.B. durch dynamische Dejustierungen der Spiegel entstehen können, vollständig kompensiert.

5 Die durch die Erfindung erreichten Vorteile sind darin zu sehen, die Arbeitsgeschwindigkeit und gleichzeitig die Verschleißfreiheit des Interferometers fast beliebig steigern zu können. Mögliche Meßgeschwindigkeiten erreichen ein Vielfaches
10 bisher bekannter Geräte und Anordnungen, sie werden entsprechend dem derzeitigen Stand der Technik durch die Leistungs-
limits kommerziell verfügbarer Analog-Digital-Wandler und Computer begrenzt.

15 Die Erfindung soll anhand eines Ausführungsbeispielles näher erläutert werden.

Figur 1 zeigt die schematische Anordnung der Elemente des Interferometers in seiner einfachsten Ausführungsform, wobei zum dargestellten Bewegungszeitpunkt die Weglängendifferenz
20 beider Interferometerarme verschwindet. Das einer Lichtquelle 1 oder ersatzweise einem Lichtwellenleiter entstammende Licht wird mittels eines strahlformenden Mittels 2 zu einem parallelen Bündel geformt, wobei die Parallelität des Bündels durch die Nichtpunktförmigkeit der Lichtquelle begrenzt wird. Als
25 strahlformendes Mittel 2 findet abhängig vom Spektralbereich eine Linse, ein Linsensystem, ein Spiegel oder ein Spiegelsystem Verwendung. Beispielsweise empfiehlt es sich, im nahen oder im mittleren Infrarot Paraboloidspiegel zu verwenden, da hier die Linsen oder -systeme erhebliche Dispersionen über den
30 erforderlichen Spektralbereich und oft auch ungenügende Durchlässigkeiten der Linsensubstrate aufweisen.

Das so erzeugte Bündel wird am Strahlteiler 3, der je nach Spektralbereich eine Platte oder ein Würfel sein kann, in
35 beide Interferometerarme aufgeteilt. Über die Umlenkspiegel 4 und 5 gelangt es zum Tripelreflektor 6, dessen exzentrische Rotation (siehe Figuren 2 und 3) die Weglängendifferenzen erzeugen. Der Reflektor 6 leitet beide Bündel zum Tripelreflektor 7, der beide Teilstrahlenbündel in sich zurückre-

flektiert, so daß diese den Strahlteiler 3 wieder erreichen, in Richtung des fokussierenden Mittels 8 zu einem Bündel rekombinieren und interferieren. Das fokussierende Mittel 8 besitzt vorzugs- aber nicht notwendigerweise den gleichen Aufbau wie das strahlkollimierende Mittel 2. Wenn Licht den Strahlteiler 3 verläßt, wird dieses auf den Detektor 9 fokussiert. Alternativ kann an Stelle des Detektors 10 auch ein Lichtwellenleiter angeordnet sein, der das Licht zum entfernt angeordneten Detektor führt.

10

Die Veränderung der Verhältnisse im Interferometer während der Bewegung des Tripelreflektors 6 ist in Figur 2 dargestellt. Der Tripelreflektor 6 rotiert auf einer Kreisbahn des Radius a und die Symmetrieachse 10 des Interferometers, wobei die Symmetrieachse des Reflektors 6 vorteilhaft (aber nicht notwendigerweise) immer parallel zur Symmetrieachse 10 der Gesamtanordnung ausgerichtet ist. Auf diese Weise werden die geometrischen Längen der Wege der Strahlenbündel in beiden Interferometerarmen moduliert.

20

In Figur 2 ist dabei die Anordnung der Komponenten zum Zeitpunkt eines Betragsmaximums der Weglängendifferenz beider Interferometerarme dargestellt. Figur 3 zeigt die Anordnung der Komponenten zum Zeitpunkt des anderen Betragsmaximums beider Interferometerarme. Auf Grund der Verwendung des Tripelreflektors 7 werden dabei alle Winkeländerungen - gleich ob durch Verkippungen der Bauteile oder durch Inhomogenitäten der Brechzahlverteilung hervorgerufen - kompensiert.

25

30

Die durch die Bewegung des Reflektors 6 wird eine ständige Verschiebung der beiden das Interferometer verlassenden Bündel 11 und 12 gegeneinander hervorgerufen. Dabei bleiben beide Bündel 11 und 12 jedoch immer parallel zueinander. Diese permanente Veränderung des Überdeckungsbereichs beider Bündel führt zu einer zusätzlichen Modulation des Interferenzkontrastes. In symmetrischer Stellung des Interferometers (Figur 1) überdecken sich beide Teilbündel vollständig, der Kontrast ist maximal. Mit zunehmendem Betrag der Weglängendifferenz

35

verringert sich der Überdeckungsbereich beider Teilbündel 11 und 12, entsprechend verringert sich der Kontrast.

Bei der auf der Verwendung der Fouriertransformation beru-
henden interferometrischen Spektroskopie werden (meist symme-
5 trische) Interferogramme endlicher Weglängendifferenz mit
Computern digitalisiert und transformiert. Die Beschränkung
der Weglängendifferenz entsteht durch den Abbruch der Aufnahme
der Interferogramme bei Erreichen vorgegebener Werte. Dadurch
10 entstehen Verfälschungen, die sich als Nebenmaxima bzw. -
minima an scharfen Absorptions- oder Emmissionspeaks äußern.
Um diese Verfälschungen zu vermeiden, werden die aufgenommenen
Interferogramme mit Wichtungsfunktionen multipliziert, die an
den Stellen minimaler und maximaler Weglängendifferenz ver-
15 schwinden. So wird der Kontrast der Interferogramme zu den
beiden Enden des Meßbereichs hin numerisch abgesenkt. In
diesem Zusammenhang betrachtet ist der oben beschriebene
Effekt der Kontrastabnahme nicht störend, er kann durch ein-
malige Anpassung der Wichtungsfunktion numerisch kompensiert
20 werden.

Bei Verwendung von monochromatischem Licht ist durch
Auswertung der durchlaufenden Interferenzstreifen die exakte
Bestimmung beispielsweise des Drehwinkels über der Zeit
25 möglich. Wird das Interferometer mit polychromatischem Licht
betrieben, kann dieses Interferogramm digitalisiert und
fouriertransformiert werden, um so das Spektrum des Lichts zu
erhalten. Dazu ist jedoch die genaue Kenntnis der Zuordnung
des interferometrischen Signals zu den Weglängendifferenzen
30 notwendig. Um diese zu ermitteln gibt es im Wesentlichen zwei
Möglichkeiten:

Eine Möglichkeit besteht in der Messung des Drehwinkels des
Tripelreflektors 6 um die Systemachse. Eine weitere, nicht
35 figürlich dargestellte Möglichkeit besteht darin, vorzugsweise
von einem Laser erzeugtes monochromatisches Licht bekannter
Wellenlänge zusätzlich durch die Meßanordnung transmittieren
zu lassen. Dieses kann zwischen Kollimator 2 und Strahlteiler
3 in die Anordnung eingekoppelt werden. Es durchläuft parallel

und gleichzeitig zu dem der Quelle 1 entstammendem Licht das Interferometer. Mittels eines Spiegels kann es zwischen Strahlteiler 3 und fokussierendem Mittel 8 wieder ausgekoppelt und einem separatem Detektor zugeführt werden. Dieses Licht erfährt dadurch genau die gleichen Manipulationen, die auch das polychromatische Licht der Quelle 1 erfährt. So ist es möglich, die Weglängendifferenzen anhand der Interferenzen der monochromatischen Strahlung direkt zu erfassen und den Interferenzen des polychromatischen Lichts zuzuordnen.

10

Alternativ zur Berechnung der Weglängendifferenzen kann das Signal des separaten Detektors einer Triggerelektronik zugeführt werden, die aus den durchlaufenden Interferenzmustern digitale Triggersignale erzeugt. Diese sind zur direkten Steuerung der Digitalisierung des Interferenzsignals des Detektors 9 verwendbar. Dadurch kann sichergestellt werden, daß alle Interferenzwerte des polychromatischen Spektrums äquidistant aufgenommen werden.

20

Schutzansprüche

1. Interferometer nach Michelson, bestehend aus einer beliebigen Lichtquelle (1), einem Mittel zur Formung eines parallelen Lichtbündels (2), einem Strahlteiler (3), zwei Spiegeln (4, 5), einem exzentrisch um die Symmetrieachse (10) des Interferometers rotierendem Tripelreflektor (6) und einem fest stehenden Tripelreflektor (7),

5 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,
daß der rotierende Tripelreflektor (6) als einziger bewegter Tripelreflektor für beide Interferometerarme so angeordnet ist, daß beide durch den Strahlteiler (3) geteilten, mit Hilfe der Spiegel (4, 5) umgelenkten Teilbündel (11, 12) in Aperturbereiche des einzigen bewegten Tripelreflektors (6) gelekt werden, welche, bezogen auf die Tripelreflektordrehachse einander gegenüberliegen, wobei die optischen Achsen beider Teilbündel (11, 12) symmetrisch und nicht parallel zur Symmetrieachse (10) den Tripelreflektor (6) erreichen beziehungsweise verlassen und daß beide Teilbündel (11, 12) parallel zu sich beziehungsweise zum Zeitpunkt verschwindender Weglängendifferenz in sich unter Verwendung eines weiteren Tripelreflektors
10 (7) zurückgeworfen werden.
15
20

2. Anordnung nach Anspruch 1,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,
daß das von der Lichtquelle (1) kommende Licht ganz oder
25 teilweise Strahlung des mittelinfraroten, des nahinfraroten oder des sichtbaren Spektralbereichs umfaßt.

3. Anordnung nach Anspruch 1,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,
30 daß falls der Strahlteiler (3) als Platte ausgeführt ist, sich innerhalb eines Interferometerarms eine Kompensationsplatte zur Kompensation der durch den Strahlteiler verursachten Asymmetrie der Lichtwege der Teilbündel innerhalb beider Interferometerarme befindet.

Ralf Arnold
Stauffenbergstr. 30/443
07747 Jena
Tel. (03641) 371544
Fu. (0172)6462024
mail: ralf.arnold@t-online.de

Jena, den 15.11.97

Fa. O.K.Tec Optik Keramik Technologie GmbH
Geschäftsführung
Wildenbruchstr. 15

07745 Jena

Meldung einer Arbeitnehmerdienstleistungserfindung

Sehr geehrte Damen und Herren,

hiermit melde ich die von mir gemachte Erfindung „Interferometer nach Michelson“ als Dienstleistungserfindung.

Gleichzeitig erhalten Sie die für die Einreichung der Erfindung beim Deutschen Patentamt notwendigen, einreichungsfertigen Unterlagen: eine Seite Zusammenfassung, sechs Seiten Beschreibung, 2 Seiten zu insgesamt 10 Patentansprüchen und 3 Zeichnungen.

Die vorliegende Erfindung basiert auf meinen allgemeinen Erfahrungen, die ich im Zuge meiner beruflichen Tätigkeit bei O.K.Tec auf den Gebieten der Spektrometrie und deren Anwendung gewonnen habe. Eine spezielle Aufgabe zur Weiterentwicklung des nach DE 41 36 300 C1 zu Grunde liegenden Interferometers bestand jedoch nicht.

Bitte teilen Sie mir innerhalb der gesetzlich festgelegten Fristen mit, ob und in welchem Umfang Sie diese Erfindung in Anspruch nehmen. Einer Anmeldung nur als Gebrauchsmuster im Falle Ihrer Inanspruchnahme stimme ich nicht zu.

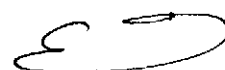
Mit freundlichen Grüßen



Ralf Arnold

Kennntnisnahme, Duplikat dieses Schreibens und
Unterlagen zur Erfindung erhalten:

Datum: 17.11.97



Dr. Roland Emmrich, Geschäftsführer



O.K.Tec Optik Keramik Technologie GmbH · Wildenbruchstraße 15 · 07745 Jena
Germany

Optik Keramik Technologie GmbH
Wildenbruchstraße 15
D - 07745 Jena
Tel.: (0 36 41) 67 51 20
Fax: (0 36 41) 67 51 39

An Herrn
Ralf Arnold
Stauffenbergstr. 30
D-07747 Jena

e-Mail: O.K.Tec@T-online.de

Ihr Schreiben/
your letter

Ihr Zeichen/
your sign

betrifft/reference:

Datum/Date:

Ihre Einreichung Diensterfindung
"Interferometer nach Michelson"

15.12.97

Sehr geehrter Herr Arnold,

hiermit teilen wir Ihnen mit, daß wir die von Ihnen eingereichten Unterlagen zu der Diensterfindung "**Interferometer nach Michelson**" schutzrechtlich sichergestellt haben. Weitere Schritte werden Ihnen zu gegebener Zeit mitgeteilt.

Außerdem teilen wir Ihnen mit, daß der Gegenstand der Diensterfindung uns gegebene Lizenzrechte der Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt (DLR) berührt. Entsprechend den vertraglichen Lizenzbestimmungen haben wir unseren Lizenzgeber über die Diensterfindung informiert. Dabei wurde festgestellt, daß die Erfinderenennung überprüft werden muß.

Der Fortgang der Schutzrechtsangelegenheit bedarf keiner weiteren Willenserklärung Ihrerseits.

Kenntnisnahme:

Mit freundlichen Grüßen

Dr. R. Emmrich
Geschäftsführer

DPA A2 291 21 030.0
G 017 3145