



(19)  
**Bundesrepublik Deutschland**  
**Deutsches Patent- und Markenamt**

(10) **DE 101 26 041 B4 2006.10.26**

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **101 26 041.5**  
 (22) Anmeldetag: **25.05.2001**  
 (43) Offenlegungstag: **31.01.2002**  
 (45) Veröffentlichungstag  
 der Patenterteilung: **26.10.2006**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **G01J 3/457 (2006.01)**  
**G01J 3/44 (2006.01)**  
**G01N 21/49 (2006.01)**  
**G01N 21/05 (2006.01)**  
**G02B 26/08 (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. 2 Patentkostengesetz).

(66) Innere Priorität:

<b>100 25 758.5</b>	<b>25.05.2000</b>
<b>100 47 340.7</b>	<b>25.09.2000</b>
<b>200 22 405.0</b>	<b>25.09.2000</b>
<b>100 60 200.2</b>	<b>04.12.2000</b>
<b>101 16 383.5</b>	<b>02.04.2001</b>

(73) Patentinhaber:

**Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der  
 angewandten Forschung e.V., 80686 München, DE**

(74) Vertreter:

**Tegel, L., Dipl.-Ing. Dr.-Ing., Pat.-Anw., 80803  
 München**

(72) Erfinder:

**Aberle, Lisa, Dr., 28203 Bremen, DE; Kleemeier,  
 Malte, Dr., 28779 Bremen, DE; Staude, Wilfried,  
 Prof. Dr., 28209 Bremen, DE; Loschen, Jürgen,  
 26133 Oldenburg, DE**

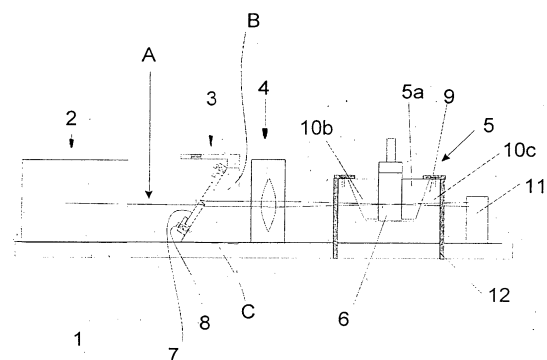
(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
 gezogene Druckschriften:

**DE 197 55 589 A1**  
**US 47 01 051 A**  
**US 43 29 054 A**  
**EP 08 99 548 A2**  
**EP 08 72 722 A1**

**ABERLE, L.B. et al: Suppression of multiple  
 scattered light by photon crosscorrelation in  
 a 3D experiment, Process in Colloid & Polymer  
 Science (1997), 104, 121-125;**

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zur Unterdrückung der Mehrfachstreuung bei Untersuchungen an trüben Medien mittels dreidimensionaler Kreuzkorrelationstechnik**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Unterdrückung der Mehrfachstreuung bei Untersuchungen an trüben Medien mittels dreidimensionaler Kreuzkorrelationstechnik, bei dem zur Justage des Verfahrens ein Medium in einem Untersuchungsbehälter (6) angeordnet wird und durch zwei parallele Laserstrahlen (B, C), die so geneigt werden, dass deren Kreuzungspunkt in dem Untersuchungsbehälter (6) liegt, beleuchtet wird und dass Detektionsoptiken (14a, 14b) auf diesen Kreuzungspunkt so justiert sind, dass die Geometrie des detektierten Streulichts mit der der Laserstrahlen (B, C) übereinstimmt und wobei das Streulicht von den Detektionsoptiken (14a, 14b) aufgenommen wird und mittels eines verkippten Spiegels (15) die Amplitude der Kreuzkorrelationsfunktionen optimiert wird, dadurch gekennzeichnet, dass zunächst ein Laserstrahl (A) so ausgerichtet wird, dass er die Wand des Untersuchungsbehälters (6) senkrecht trifft und an dieser reflektiert wird so, dass der reflektierte Strahl (A1) in dem einfallenden Laserstrahl (A) zurückläuft und dass der Laserstrahl (A) in zwei parallele Laserstrahlen (B, C) aufgespalten wird und dass diese parallelen Laserstrahlen (B,...



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren und Vorrichtung zur Unterdrückung der Mehrfachstreuung bei Untersuchungen an trüben Medien mittels dreidimensionaler Kreuzkorrelationstechnik gemäß dem Oberbegriff der Ansprüche 1 und 24.

**[0002]** Seit vielen Jahren zählen Lichtstreutechniken zu den etablierten Charakterisierungsmethoden flüssiger Proben, wie beispielsweise für die Ermittlung von Partikelgrößenverteilungen und Molmassen, dynamischen Prozessen und strukturellen Eigenschaften von Suspensionen, Emulsionen und Polymerlösungen. Konventionelle Lichtstremethoden besitzen allerdings seit jeher den Nachteil, daß nur stark verdünnte bzw. nahezu transparente Proben untersucht werden können, trübe Proben aber aufgrund der mit Mehrfachstreuung verbundenen Probleme nicht zugänglich sind. Kreuzkorrelationstechniken sind spezielle Lichtstreutechniken, die dazu entwickelt wurden, um den Einfluß von Mehrfachstreuung zu unterdrücken und das einfach gestreute Licht zu selektieren. Dadurch ermöglichen diese Techniken die Untersuchung von Medien in einem weiten Konzentrationsbereich, von nahezu transparent bis stark opak. Es können auch Proben untersucht werden, die so trübe sind, daß der Anteil des einfach gestreuten Lichtes nur noch wenige Prozent beträgt.

### Stand der Technik

**[0003]** Vorrichtungen und Verfahren für 3D Korrelationstechniken für winkelabhängige Messungen sind bekannt. Die Justage von 3D Kreuzkorrelationsuntersuchungen und -Vorrichtungen ist gegenüber konventionellen DLS-Streuuntersuchungen wesentlich schwieriger. Solche Aufbauten beinhalten naturgemäß viele Komponenten, die empfindlich sind gegenüber Erschütterungen und Vibrationen und eignen sich daher nicht für den industriellen Einsatz bzw. für Routineuntersuchungen. Darüber hinaus sind winkelabhängige Lichtstreuapparaturen kostspielig und aufgrund der umfangreichen Justageprozedur zeitintensiv in der Handhabung. Die in Aberle et al., Progr. Colloid. Polym. Sci. 104, 121 (1997) vorgestellte Apparatur ist zwar nur für einen festen Streuwinkel von 90° konzipiert, ist aber ebenfalls zeitintensiv in der Justierung und enthält Komponenten, die in gleicher Weise empfindlich sind gegenüber Erschütterungen. Durch kleinste Erschütterungen wird aber die Justage einer 3D Kreuzkorrelationsapparatur empfindlich gestört, so daß die 3D Kreuzkorrelationsapparatur schlechte bzw. gar keine Signale mehr liefert.

**[0004]** In der DE 197 55 589 A1 wird ebenfalls eine Justageprozedur für variable Streuwinkeleinstellungen und eine Vorrichtung zur Durchführung von Untersuchungen an trüben Medien mittels Kreuzkorrela-

tionstechnik beschrieben. Es wird ausgenutzt, daß dann der „Kopiervorgang“ der geometrischen Bedingungen der die Probe beleuchtenden Laserstrahlen dadurch durchgeführt wird, daß für die Detektionsoptik der Streuwinkel  $\theta = 0^\circ$  eingestellt wird. Bevor dieser Schritt durchgeführt werden kann, muss jedoch die gesamte Apparatur hinsichtlich der korrekten Winkeleinstellung vorjustiert werden. Dies bedeutet: Ausrichtung des Drehpunktes des Goniometers an den einfallenden Laserstrahlen, Ausrichtung der Mittelpunkt von Temperierbad und Probenküvette am Drehpunkt des Goniometers, Ausrichtung der Längsachse des Temperierbades zur optischen Ebene usw. Diese Justage ist aufwendig und erfordert ein hohes technisches Wissen des Justagepersonals. Darüber hinaus eignet sich die beschriebene Vorrichtung nur für den stationären Einsatz, denn sie erfordert viel Platz und ist empfindlich gegenüber kleinsten Erschütterungen.

### Aufgabenstellung

**[0005]** Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Justageverfahren, das einfach durchführbar ist und eine Vorrichtung die gebrauchsvorteilhaft und kostengünstig ist, anzugeben.

**[0006]** Diese Aufgabe ist durch die kennzeichnenden Merkmale der Ansprüche 1 und 24 gelöst.

**[0007]** Die Unteransprüche stellen vorteilhafte Weiterbildungen dar.

**[0008]** Bei 3D Kreuzkorrelationsuntersuchungen führen kleine Justagefehler bzw. Dejustageeffekte leicht dazu, dass gar kein Kreuzkorrelationssignal gemessen werden kann. Die Justage stellt allein deswegen hohe Ansprüche an die Präzision und an die Stabilität. Da sich die durch die Einfallsrichtungen der Laserstrahlen und der Detektionsrichtungen vorgegebenen Streugeometrien im dreidimensionalen Raum befinden, treten Brechungseffekte bei Übergängen zwischen Luft, Küvettenmaterial und Probenflüssigkeit auf, die bei der Justage berücksichtigt werden müssen. Deshalb ist es wesentlich zu berücksichtigen, dass bei der Justage die Bedingungen bereits vorliegen, die später beim Messvorgang herrschen.

**[0009]** Die beiden Laserstrahlen, die das in einem Untersuchungsbehälter befindliche Medium beleuchten, müssen sich in dem Medium möglichst gut überkreuzen. Hierzu werden zwei parallele Strahlen erzeugt, die dann so geneigt werden, dass deren Kreuzungspunkt in dem Untersuchungsbehälter liegt. Je höher die Güte der Parallelität der beiden Strahlen, desto besser überkreuzen sie sich, beispielweise beim Einsatz einer Linse. Bei mangelhafter Parallelität überkreuzen sich die Laserstrahlen gar nicht oder nur in einem kleinen Teilvolumen des zu untersu-

chenden Mediums. Wird keine oder nur eine mangelhafte Überschneidung der beiden Laserstrahlen erreicht, ist eine der Voraussetzungen, damit Kreuzkorrelationsfunktionen gemessen werden, schon zu Beginn der Justage nicht erfüllt. Selbst wenn die weitere Justage mit hoher Präzision ausgeführt werden würde, könnte keine Kreuzkorrelationsfunktion gemessen werden. Auch wenn bei zunächst erfolgreicher Justage spätere Erschütterungen o. ä. (Transport, Betrieb) dazu führen, dass die Parallelität der Laserstrahlen gestört wird, kann ebenfalls kein Kreuzkorrelationssignal mehr gemessen werden. Die beiden Detektionsoptiken müssen ebenfalls so justiert werden, dass sie Streulicht aus demselben Probenvolumen, sog. Überlappvolumen detektieren. Dieses Überlappvolumen muß möglichst gut mit dem Volumen des Mediums übereinstimmen, in dem sich die beiden Laserstrahlen überkreuzen. Auch hier gilt, dass keine Kreuzkorrelationsfunktion gemessen werden kann, wenn es kein gemeinsames Volumen gibt, aus dem Streulicht zu den Detektionsoptiken gelangt.

**[0010]** Das Justageverfahren wird wie folgt durchgeführt:

Im ersten Schritt wird der Laserstrahl so justiert, dass er die Wand des Untersuchungsbehälters, gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung, einer mit einer Flüssigkeit gefüllten Küvette, senkrecht trifft. Es wurde erkannt, dass es nicht auf die parallele Ausrichtung des Laserstrahles zur optischen Ebene, sondern auf die senkrechte Ausrichtung des Laserstrahles bezüglich der Wand des Untersuchungsbehälters, mit anderen Worten auf die Positionierung des Laserstrahles relativ zur Küvette, ankommt. Dazu wird der Laser mittels Verkippvorrichtungen und/oder Spiegel so justiert, dass der Laserstrahl senkrecht auf die Wand der Küvette trifft, die sich in einer Küvettenhalterung befindet. Zu diesem Zweck sieht das Verfahren in Ausgestaltung vor, eine Küvette zu verwenden, die das auf die Küvettenwand auftreffende Laserlicht möglichst gut spiegelt. Dies wird dadurch erreicht, dass in die Küvette eine dunkle oder schwarze Flüssigkeit eingebracht wird. Zusammen mit dem Küvettenmaterial (Glas oder Kunststoff) wirkt die schwarze/dunkle Flüssigkeit wie ein Spiegel. Auch die Verwendung einer verspiegelten Küvette oder eines spiegelnden Metallblocks, der die Maße der Küvette besitzt, ist geeignet. Die Position des reflektierten und des vom Laser ausgesandten Lichtes werden dann mit Hilfe eines dünnen Glasplättchens beobachtet, das in möglichst großer Entfernung von der reflektierenden Küvette aber zwischen dieser und dem Laser in den Strahlengang eingebracht wird. Auf diese Weise wird die Justagegenauigkeit verbessert. Außerdem ist die Justage unabhängig von der Grundplatte der Vorrichtung, die die optische Ebene bildet. Dies wirkt sich vorteilhaft auf die Fertigung der einzelnen Bauteile für die Küvettenhalterung aus. Die Justage des senkrechten Auftreffens des Laserstrahles auf eine Wand des Untersuchungsbehälters, wird wie folgt durchge-

führt: Der vom Laser ausgesandte Laserstrahl wird mittels Verkippvorrichtungen oder Spiegel so verkippt, dass der an der Küvettenwand reflektierte Laserstrahl in den vom Laser ausgesandten Laserstrahl zurückläuft. Dies lässt sich mit Hilfe eines Glasplättchens, das in den Strahlengang eingebracht wird, gut beobachten. Der Auftreffpunkt des reflektierten und des vom Laser ausgesandten Laserstrahles erzeugen beim Auftreffen auf das Glasplättchen helle Lichtflecke. Der vom Laser ausgesandte Laserstrahl wird so justiert, dass diese beiden Lichtflecke übereinander zu liegen kommen. In vorteilhafter Ausgestaltung des Verfahrens wird der Laserstrahl zunächst so justiert, dass er eine auf der Küvette markierte, Mittellinie, die der Mittelachse der Küvette entspricht schneidet. Diese Mittellinie ist eine Linie die parallel zu den Längskanten der Küvette verläuft und von diesen Längskanten denselben Abstand besitzt. Der Laserstrahl wird nun senkrecht zu dieser Mittellinie so verschoben, damit er diese Mittellinie schneidet.

**[0011]** Im zweiten Schritt des Verfahrens werden die Voraussetzungen geschaffen, dass der später durchzuführende „Kopiervorgang“ möglichst präzise von statten geht. Der Laserstrahl wird in zwei parallele Strahlen aufgespalten. Dann werden die parallelen Strahlen so geneigt, dass deren Kreuzungspunkt innerhalb der Küvette liegt. Hierbei wird berücksichtigt, dass wegen der Neigung der einfallenden Laserstrahlen, diese bei den Übergängen Luft/Glas (oder Luft/Kunststoff) und Glas (Kunststoff)/das zu untersuchende Medium gebrochen werden. Nur dann ist gewährleistet, dass das Überlappvolumen der Detektionsoptik mit dem Kreuzungsvolumen der Laserstrahlen nach Abschluss der Justage auch noch im realen Experiment übereinstimmen. Wesentlich für die Messungen ist, dass der Kreuzungspunkt der Laserstrahlen dort liegt, wo sich später bei Messungen das Überlappvolumen der Detektionsoptik befindet, d.h. dort, wo sich im nächsten Schritt des Verfahrens eine Spiegelfläche befindet. Vorteilhafterweise beinhaltet die Spiegelfläche die Mittelachse des Untersuchungsbehälters. Würde sich der Kreuzungspunkt vor oder hinter diese Spiegelfläche befinden, hätte dies zur Folge, dass die beiden Detektionsoptiken nach dem „Kopiervorgang“ Streulicht aus einem Überlappvolumen aufnehmen, das sich hinter oder vor dem Kreuzungspunkt der Laserstrahlen befindet.

**[0012]** Die parallelen Laserstrahlen können mittels einer Linse, die in deren Strahlengang eingebracht wird, focussiert werden. Für diesen Schritt des Verfahrens wird die verspiegelte Küvette gegen eine neue Küvette ausgetauscht. Der Kreuzungspunkt der beiden Laserstrahlen kann besonders gut dann beobachtet werden, wenn vorteilhafterweise eine leicht trübe Flüssigkeit, deren Brechungsindex mit dem der später zu untersuchenden Medien möglichst gut übereinstimmt, in die Küvette eingebracht wird. Durch Streueffekte wird der Verlauf der Laserstrahlen

in der leicht trüben Flüssigkeit visualisiert, die Markierungen auf der Küvette geben die Mitte der Küvette an und durch eine Lupe werden die kreuzenden Laserstrahlen mitsamt der Markierungen bequem beobachtet. Da sich die parallelen Laserstrahlen im Brennpunkt der Linse kreuzen, kann damit auch die Position der Linse auf einfache Weise recht genau bestimmt werden. Alternativ kann dieser Schritt des Verfahrens so durchgeführt werden, dass zunächst der Laserstrahl durch eine Linse focussiert wird und dass dieser focussierte Laserstrahl dann in zwei Laserstrahlen, die so geführt werden, dass sie sich innerhalb der Küvette, vorteilhafterweise auf der Mittelachse der Küvette kreuzen, aufgespalten wird. Diese Anordnung hat den Vorteil, dass eine Linse mit einer längeren Brennweite verwendet werden kann, wodurch er Durchmesser des Überlappungsbereichs vergrößert wird. Das selbe gilt, wenn die Linse ganz weggelassen wird und stattdessen ein besonderes ausgebildetes Prisma verwendet wird, welches den Laserstrahl in zwei Strahlen aufspaltet und neigt so, dass der Kreuzungspunkt wie gewünscht in dem Überlappvolumen liegt.

**[0013]** Im dritten Schritt des Verfahrens wird in eine Küvette eine diagonale Spiegelfläche eingesetzt. In einer vorteilhaften Ausführung beinhaltet die Spiegelfläche die Mittelachse der Küvette und soweit auch die Mittelachse der Küvettenhalterung. In der Küvette befindet sich eine Flüssigkeit, deren Brechungsindex dem Wert des Brechungsindex der zu untersuchenden Medien möglichst nahe kommt, wodurch nach dem Kopiervorgang auch das Überlappvolumen der Detektionsoptiken einen möglichst großen Teil des Volumens beinhaltet, in dem sich die Laserstrahlen kreuzen.

**[0014]** Im vierten Schritt des Verfahrens wird das gespiegelte Laserlicht von den Detektionsoptiken aufgenommen. Anschließend wird die Küvette mit der Spiegelfläche durch eine Küvette mit einer schwach streuenden Flüssigkeit ersetzt und die Amplitude der Kreuzkorrelationsfunktionen auf bekannte Weise optimiert. Die Einkoppelung des reflektierten Laserlichtes in die Glasfasern wird dadurch verbessert, dass die Strahlen nicht durch den Brechungseffekt einer in einem zylindrischen Behälter befindlichen, die Küvette umgebenden, Flüssigkeit beeinträchtigt werden. Dadurch ist der „Kopiervorgang“ sowohl hinsichtlich der Neigung gegenüber der Normalen auf die Küvettenwand der Probenküvette als auch hinsichtlich der Position des Überlappvolumens wesentlich verbessert. Die Verwendung eines mit Flüssigkeit gefüllten zylindrischen Bades ist nach dem anmeldungsgemäßen Verfahren nicht notwendig. Jedoch kann dieses Verfahren auch mit Einsatz eines derartigen Bades durchgeführt werden.

**[0015]** Ein weiterer Schritt des Verfahrens, der in [Fig. 22](#) schematisch dargestellt ist, wird so durchge-

führt, dass die Küvette mit einer leicht trüben Flüssigkeit in einen zylindrischen lichtdurchlässigen Behälter eingesetzt wird und dass dann eine Nachjustage durchgeführt wird. Es ist vorteilhaft, für die Detektionsoptiken Glasfasern mit integrierten Linsen zu verwenden. Die Linsen sind in der Regel so angeordnet, dass sie das aufgenommene Licht auf den Kern der Glasfaser fokussieren. Es ist vorteilhaft, für die Glasfasern Single-Mode-Fasern zu verwenden. Solche Fasern nehmen im Idealfall nur parallele Lichtstrahlenbündel auf. Für die Linsen ist es vorteilhaft, Gradienten-Index-Linsen (GRIN-Linsen) zu verwenden. Glasfasersysteme mit integrierten GRIN-Linsen können fertig konfektioniert eingesetzt werden. Bei Single-Mode-Fasern mit integrierten GRIN-Linsen ist die Detektionscharakteristik allerdings divergent, das bedeutet, dass das in die Single-Mode-Faser eingekoppelte Strahlenbündel nicht perfekt parallel ist sondern einen Öffnungswinkel von typ.  $0.3^\circ$  aufweist. Um diesen Mangel zu beheben und um den Bereich einzuschränken, aus dem Streulicht in die Glasfaser gelangen kann, kann der Untersuchungsbehälter ein zylindrischer, lichtdurchlässiger Behälter sein oder sich in einem zylindrischen, lichtdurchlässigen und mit Flüssigkeit gefüllten Behälter befinden. Der Radius dieses Behälters ist mindestens so klein, dass die Divergenz des detektierten Strahlenbündels senkrecht zur Längsachse des zylindrischen Behälters ausgeglichen wird, d. h., dass die Glasfaser nur solche Anteile des aus dem Überlappbereich gestreuten Lichts aufnimmt, das aus parallelen Strahlenbündel besteht. Vorteilhaft ist auch, den Radius des zylindrischen Behälters noch kleiner zu wählen, damit die Glasfaser Licht aufnimmt, das senkrecht zur Längsachse des zylindrischen Behälters aus einem konvergenten Strahlenbündel besteht. Hierdurch lassen sich die Maße des Überlappbereichs der Detektionsoptiken senkrecht zur Längsachse des zylindrischen Behälters verkleinern.

**[0016]** Das beschriebene Justageverfahren ist auch für winkelabhängige Untersuchungen einsetzbar.

**[0017]** Die gattungsgemäßen Vorrichtungen sind so ausgeführt, dass sie auf der Beleuchtungsseite und auf der Detektionsseite Bauelemente aufweisen, die zwar fest mit der Grundplatte des Gerätes verbunden sind, deren Positionierung jedoch, insbesondere in bezug auf die Einstellung derer optischen und physikalischen Größen nicht für einen Dauerbetrieb bei wechselnden Bedingungen geeignet ist. Die gattungsgemäßen Geräte sind daher nicht an wechselnden Meßsorten einsetzbar, da jedesmal eine langwierige Justageprozedur dem Einsatz der Vorrichtung für den Messbetrieb vorausgehen muß. Wesentlich für gebrauchsvorteilhafte Geräte ist die Zuordnung der einzelnen Komponenten so zueinander, dass die Position der Laserstrahlen gegenüber der durch die Grundplatte gebildeten optischen Ebene unverändert bleibt. Wesentlich dabei ist, dass der Kreuzungs-

punkt der die Probe beleuchtenden Strahlen konstant bleibt und dass das zu den Detektionsoptiken transmittierte Streulicht bei einem fest eingestellten Streuwinkel aus einem immer konstanten Probevolumen stammt. Die Detektionsoptiken und die Amplitude der Kreuzkorrelationsfunktionen müssen ebenfalls während des Meßbetriebes und des Einsatzes der Vorrichtung konstant bleiben. Dazu ist es erforderlich, dass sichergestellt wird, dass die Positionierung der Detektionsoptiken und des diesen vorgeschalteten Spiegels konstant bleibt. Die anmeldungsgemäße Vorrichtung ermöglicht durch ihre Konstruktion derart, dass die Positionierung der einzelnen Bauteile konstant bleibt, bzw. dadurch dass die Detektionsoptiken selbst-nachjustierbar sind, eine zuverlässige Durchführung der Messungen.

**[0018]** Dazu wird als Anordnung zur Erzeugung paralleler Laserstrahlen ein Strahlteiler eingesetzt, der in einer Positionierhalterung so angeordnet ist, dass sich seine Position gegenüber der Grundplatte nicht verändert, d.h. dass die Strahlführung der parallelen Strahlen bzw. die Position der parallelen Strahlen gegenüber der optischen Ebene unverändert bleibt. In vorteilhafter Ausgestaltung sieht die Erfindung dazu vor, dass eine Strahlteilerplatte, für die keine Justageschritte erforderlich sind, in eine Positionierhalterung unter einem festen Winkel eingesetzt wird und so eine fest positionierte Strahlführung erlaubt. In Ausgestaltung sieht die Erfindung vor, dass ein Glasprisma auf der Grundplatte fest positioniert wird, welches den Laserstrahl aufspaltet und gleichzeitig die zwei austretenden Strahlen neigt, so dass sie sich auf der Mittelachse der Küvette kreuzen. Besonderes vorteilhaft ist, dass die Detektionsoptiken durch einen mittels einer intelligenten Software gesteuerten Motor für den Fall der Dejustage automatisch nachjustiert werden. Alternativ werden Glasfaserhalterungen eingesetzt, die zwar für die Zwecke der Justage verstellbar sind, jedoch im Dauerbetrieb der Vorrichtung fest positioniert bleiben.

**[0019]** In einer vorteilhaften Ausgestaltung ist vorgesehen, dass als Strahlteiler eine lichtdurchlässige Platte dient, die planparallele Vorder- und Rückseiten aufweist, wobei ein in zwei parallele Lichtstrahlen zu teilender Lichtstrahl auf die Vorderseite der Platte auftrifft und die Platte als zwei parallele Strahlen auf der Rückseite verläßt. Dazu ist die Platte an ihrer Vorderseite im Bereich außerhalb des Strahleinfalls voll verspiegelt. Die Rückseite der Platte ist im Bereich des transmittierten Lichtstrahles teilverspiegelt. Die Platte ist zur Änderung des Lichtstrahleinfallwinkels und damit zur Änderung des Abstandes der austretenden Lichtstrahlen um eine Kippachse kippbar. Die Kippachse liegt in der Erstreckungsebene der Platte parallel zu den planparallelen Seitenflächen derselben und verläuft durch den Auftreffpunkt des einfallenden Lichtstrahles. Dadurch ist durch die Verwendung nur einer einzigen Platte die Durchführung der

Messungen mit parallelen Strahlen mit variablem Abstand lediglich durch die Änderung der Position des Neigungswinkels der Platte in der Positionierhalterung bzw. die Verwendung von Positionierhalterungen mit unterschiedlichen Neigungswinkeln möglich.

**[0020]** Es ist besonderes vorteilhaft, wenn die Vorderseite der Platte im Bereich des Lichtstrahleinfalls entspiegelt ist. Dadurch wird vermieden, dass bereits in diesem Bereich Intensitätsverluste entstehen. Das gleiche gilt für den entspiegelten Bereich der Rückseite.

**[0021]** In Ausgestaltung ist ein Überlappungsbereich vorhanden, in dem, bei senkrechter Aufsicht auf die Platte, der vollverspiegelte Bereich der Vorderseite sich mit dem teilverspiegelten Bereich der Rückseite überlappt.

**[0022]** Gemäß der Erfindung erfolgt die Strahlteilung folgendermaßen:

Der einfallende Lichtstrahl tritt an der Vorderseite der Platte ein, läuft durch die Platte durch und wird durch das Auftreffen auf den teilverspiegelten Bereich der Rückseite der Platte teils reflektiert und teils transmittiert. Der transmittierte Strahl erfährt gegenüber dem einfallenden Lichtstrahl lediglich einen räumlichen Versatz, die Richtung der beiden Strahlen stimmt überein. Der an dem teilverspiegelten Bereich reflektierte Strahl trifft auf den vollverspiegelten Bereich der Vorderseite auf, wo er erneut reflektiert wird und tritt dann, parallel zu dem einfallenden und transmittierten Lichtstrahl, in dem entspiegelten Bereich der Rückseite der Platte aus.

**[0023]** Ferner ist vorgesehen, dass der Überlappungsbereich so ausgestaltet ist, dass der teilverspiegelte Bereich der Rückseite von einer Linie ausgeht, die der Trennlinie zwischen dem vollverspiegelten Bereich und dem Bereich des Strahleinfalls, bzw. dem entspiegelten Bereich der Vorderseite entspricht und sich in Richtung des vollverspiegelten Bereichs der Vorderseite erstreckt, und auf eine zur Trennlinie parallele Linie trifft, deren Abstand von der Trennlinie in Abhängigkeit von der Dicke der Platte, dem Strahleinfallwinkel und dem Brechungsindex des Plattenmaterials abhängig ist. Die Platte ist zur Änderung des Strahleinfallwinkels um die Kippachse kippbar. Sie ist gleichzeitig entlang der Kippachse verschiebbar. Dadurch wird erreicht, dass der transmittierte Strahl an der Rückseite der Platte für einen weiten Wertebereich des Strahleinfallwinkels immer den teilverspiegelten Bereich trifft und aus der Platte austritt und der von dem teilverspiegelten Bereich der Rückseite und dem vollverspiegelten Bereich der Vorderseite reflektierte Lichtstrahl immer den entspiegelten Bereich trifft und aus der Platte austritt. Dadurch ist die kontinuierliche Einstellung des Abstandes der erzeugten parallelen Strahlen in einem großen Wertebereich möglich. Dieser ist von der Plattendicke, dem

Brechungsindex des Plattenmaterials und dem Kippwinkel der Platte bzw. dem Lichtauftrittswinkel abhängig.

**[0024]** In einer vorteilhaften Ausführung ist die Strahlteilerplatte in einer Halterung, die in die tragbare Vorrichtung eingesetzt wird, fest angeordnet. Vorteilhaft ist eine Anordnung dieser Halterung in einer Position, die gegenüber der optischen Ebene unter einem Neigungswinkel von  $45^\circ$  angeordnet ist. Bei dieser Anordnung wird der aus Übergang Glas/Luft der Vorderseite reflektierte Strahl in einer zur optischen Ebene senkrechten Richtung umgelenkt, wodurch eine einfache Detektion des Streulichts möglich ist.

**[0025]** In Ausgestaltung sieht die Erfindung vor, dass kein Überlappungsbereich vorhanden ist, d.h. dass der teilverspiegelte Bereich der Rückseite dem Bereich des Strahleinfalls (dem entspiegelten Bereich) der Vorderseite und der vollverspiegelte Bereich der Vorderseite dem entspiegelten Bereich der Rückseite entspricht. Die Platte ist bei dieser Ausgestaltung zur Änderung des Strahleinfallwinkels um die Kippachse kippbar und in der zur Kippachse senkrechten Ebene senkrecht zur Richtung des einfallenden Strahles verschiebbar, so dass der Auftreffpunkt des Lichtstrahls und die Kippachse entsprechend der Änderung des Strahleinfallwinkels voneinander beabstandbar sind. Ferner ist vorgesehen, dass die Platte zur Änderung des Strahleinfallwinkels kippbar ist und in zur Kippachse und zur Richtung des einfallenden Strahles senkrechter Richtung verschiebbar ist. Durch diese Verkippung und entsprechende Verschiebung der Platte ist erreicht, dass der Abstand der austretenden parallelen Strahlen in einem großen Bereich, von sehr kleinen bis zu sehr großen Abständen einstellbar ist.

**[0026]** Befindet sich die Platte in einer Halterung, die eine stufenlose Veränderung ihrer Position erlaubt, so ist der Abstand der Strahlen stufenlos veränderbar.

**[0027]** Für die Erzeugung zweier parallelen Strahlen ist es wesentlich, dass der Überlappungsbereich bei senkrechter Aufsicht auf die Platte mindestens so breit ist, wie der Abstand zwischen dem Austrittspunkt des transmittierten Strahles und dem Auftreffpunkt des einfallenden Strahles, aber geringer als der Abstand zwischen dem letzt genannten Punkt und dem Austrittspunkt des transmittierten und in dem teilverspiegelten Bereich der Vorderseite und in dem vollverspiegelten Bereich der Rückseite reflektierten Strahles.

**[0028]** Durch die Ausgestaltung nach den Ansprüchen 31, 32 und 33 wird erreicht, dass ein maximaler Verkippungswinkel möglich ist, und dass die austretenden Strahlen immer noch den teilverspiegelten

Bereich bzw. den entspiegelten Bereich der Rückseite treffen. Um diesen Bereich bei einer gegebenen Dicke der Platte und dem vorgegebenen Plattenmaterial, d.h. dem vorgegebenen Brechungsindex möglichst groß zu gestalten, ist die beschriebene Ausführung wesentlich.

**[0029]** Vorteilhaft ist, wenn die lichtdurchlässige Platte als Glasplatte ausgebildet ist.

**[0030]** Die entspiegelten, teilverspiegelten und vollverspiegelten Bereiche sind durch eine Beschichtung der Platte aus Aluminium oder Silber, oder durch eine dielektrische Beschichtung realisiert.

#### Ausführungsbeispiel

**[0031]** Die erfindungsgemäße Vorrichtung wird anhand von Zeichnungen und Beispielen näher erläutert. Es zeigen:

**[0032]** [Fig. 1](#) Schematische Darstellung der Seitenansicht der Vorrichtung

**[0033]** [Fig. 2](#) Frontansicht der Küvettenhalterung mit unterschiedlich angeordneten Kreuzungsbereichen der Laserstrahlen

**[0034]** [Fig. 3](#) Draufsicht auf die Vorrichtung

**[0035]** [Fig. 4](#) Draufsicht auf die Küvette mit unterschiedlich angeordneten Kreuzungsbereichen der Laserstrahlen

**[0036]** [Fig. 5](#) Seitenansicht der Positionierhalterung für den Strahlteiler

**[0037]** [Fig. 6](#) Einen Schnitt durch die Strahlteilerplatte mit eingezeichnetem Strahlengang

**[0038]** [Fig. 7](#) Darstellung einer Beschichtungsanordnung einer kreisrunden Platte

**[0039]** [Fig. 8](#) Schematische Darstellung der Plattenbewegung für verschiedene Verkippungswinkel

**[0040]** [Fig. 9](#) Seitenansicht der Glasfaserhalterung

**[0041]** [Fig. 10](#) Frontansicht der Glasfaserhalterung der [Fig. 9](#)

**[0042]** [Fig. 11](#) Darstellung der Beleuchtungs- und der Detektionsseite für Detektion für unterschiedliche, fest angeordnete Streuwinkel

**[0043]** [Fig. 12](#) Draufsicht auf eine weitere Ausführungsform der Anordnung für variable Streuwinklereinstellung

**[0044]** [Fig. 13](#) Seitenansicht der Ausführungsform

der [Fig. 12](#)

[0045] [Fig. 14](#) Schematische Darstellung der Detektionsoptik mit zwei Spiegeln und drei Glasfaserhalterungen

[0046] [Fig. 15](#) Schematische Darstellung eines Glasprismen-Strahlteilers mit Strahlengang

[0047] [Fig. 16](#) und [Fig. 19](#) Seitenansicht verschiedener Küvettenhalterungen

[0048] [Fig. 17](#), [Fig. 18](#), [Fig. 20](#), [Fig. 21](#) Verschiedene Ausführungsformen der x-y Verschiebepositionenelemente der Küvettenhalterung der [Fig. 16](#)

[0049] [Fig. 22](#) Schematische Darstellung des Strahlengangs bei Justage mit einem zylindrischen Badbehälter

[0050] [Fig. 23](#) Schematische Darstellung des Strahlengangs bei Verwendung einer zylindrischen Küvette

[0051] [Fig. 24](#) Schematische Darstellung des Strahlengangs bei Verwendung einer rechteckigen Küvette

[0052] In [Fig. 1](#) ist schematisch die erfindungsgemäße Vorrichtung in Seitenansicht dargestellt. Sie weist eine Grundplatte **1**, einen Laser **2**, einen Strahlteiler **3**, eine Linse **4** und eine Halterung **5** für eine Küvette **6** auf. Der Laserstrahl A läßt sich durch entsprechende, für solche Zwecke bekannte Verkippvorrichtungen bzw. Halterungen parallel zu der Grundplatte **1** und senkrecht zu den Wänden der Küvette **6** ausrichten. Er trifft auf einen Strahlteiler **3** in Form eines Glasplättchens **7**, das den Laserstrahl A durch eine geeignete Beschichtung in zwei parallele Laserstrahlen B, C nahezu gleicher Intensität aufspaltet, die gegenüber dem einfallenden Laserstrahl A versetzt sind, aber deren Richtung mit der des einfallenden Laserstrahles übereinstimmt. Das Glasplättchen **7** befindet sich in einer Positionierhalterung **8**, durch die das Glasplättchen **7** stabil, unter einem für die Untersuchungen vorgegebenem Winkel zur Grundplatte geneigt, gegen Erschütterungen gehalten ist. Beide Laserstrahlen B, C werden mit einer Linse **4** fokussiert, so dass die beiden Laserstrahlen im Inneren der Küvette **6** überlappen. Die Küvettenhalterung **5** besteht aus einer für die Maße der Küvettenform passenden Halterung **5a**, **5b**, **5c**, die sich in einer weiteren Halterung **9** befindet. In einer vorteilhaften Ausführung verlaufen die Außenmaße der Halterungen **5a**, **5b**, **5c** sowie dazu passend die Innenmaße der Halterung **9** konisch. Dadurch wird eine zentrische Positionierung der Halterungen **5a**, **5b**, **5c** gewährleistet. Des weiteren sind die Halterungen **5a**, **5b**, **5c** in einer vorteilhaften Ausführung so beschaffen, dass sich der Überlappungsbereich der beiden

Laserstrahlen B, C in der Mitte der Küvettenhalterung **5a**, in einer Ecke der Küvettenhalterung **5b** und in geringem Abstand zu einer Küvettenwandhalterung **5c** befindet. Für die Justage ist es vorteilhaft, wenn der Kreuzungspunkt der Laserstrahlen auf der Mittelachse der Küvette liegt, da er so am einfachsten geortet werden kann. Bei den Untersuchungen mit trüben Flüssigkeiten kann das auch eine Ecke der Küvette, oder ein geringer Abstand zur Küvettenwand sein. Die Küvettenhalterung **5** weist Bohrungen auf. Bohrung **10a** ist so angebracht, daß die beiden einfallenden Laserstrahlen die Küvette **6** beleuchten können. Durch eine weitere Bohrung **10c** treffen die transmittierten Laserstrahlen am Ort **11** auf einen Strahlstopper bzw. ein Laserintensitätsmessgerät.

[0053] Durch Bohrung **10b** wie in [Fig. 3](#) dargestellt, kann das Streulicht die Halterung **5** in einer zum einfallenden Laserstrahl A senkrechten Richtung verlassen. Die Ebene, die durch die Richtung des einfallenden Laserstrahles und durch die dazu senkrechte Richtung, in der das Streulicht die Küvettenhalterung **5** verläßt, definiert ist, ist die 'optische Ebene'. Die Halterungen **5a**, **5b**, **5c** sind so beschaffen, dass die Längskanten der Küvette **6** senkrecht zur optischen Ebene stehen. Ein Teil des Streulichtes trifft auf einen Spiegel **15**, der das Streulicht zu der Glasfaserhalterung **13a** umlenkt so, dass die Intensität des Streulichtes von der Glasfaser **14a** aufgesammelt werden kann. Der Spiegel **15** befindet sich in einer Kipphalterung, durch die er um zwei Kippachsen verkippt werden kann. Eine der Kippachsen ermöglicht eine Verkipfung um eine senkrecht auf der optischen Ebene stehenden Achse. Die andere Kippachse liegt parallel zur optischen Ebene und zur Erstreckungsebene des Spiegels. Beide Achsen gehen durch einen gemeinsamen Punkt, der sich unmittelbar hinter dem Spiegel befindet. Ein anderer Teil des die Bohrung **10b** verlassenden Streulichtes trifft eine Glasfaserhalterung **13b** so, dass die Intensität des Streulichtes von einer Glasfaser **14b** aufgenommen werden kann. Die Glasfaserhalterungen **13a**, **13b** und der Spiegel **15** sind so justiert, dass nur derjenige Teil des Streulichtes von den Glasfasern **14a**, **14b** aufgenommen werden kann, dessen Geometrie mit der der einfallenden Laserstrahlen übereinstimmt. D. h. unter anderem, dass der Verkipfungswinkel der Glasfasern **14a**, **14b** gegenüber der optischen Ebene mit dem Verkipfungswinkel übereinstimmt, mit dem die beiden einfallenden Laserstrahlen B, C durch die fokussierende Wirkung der Linse **4** gegenüber der optischen Ebene verkippt sind. In einer vorteilhaften Ausführung sind die Halterungen **9**, **5a**, **5b**, **5c** temperierbar und sind durch eine isolierende Schicht **12** umgeben.

[0054] [Fig. 5](#) zeigt die Strahlteilerhalterung **8** in der Seitenansicht. Das Glasplättchen **7** befindet sich in einer Ringfassung **15**, die ihrerseits auf die schräge Ebene **16** der Positionierhalterung **8** durch Feststell-

schrauben **17** montiert ist so, dass das Glasplättchen **7** gegen die schräge Ebene **16** gedrückt wird. Die Positionierhalterung **8** besitzt eine Bohrung **18**, durch die die aus dem Glasplättchen **7** austretenden parallelen Laserstrahlen B, C durchgelassen werden. Eine vorteilhafte Ausführung der Strahlteilerhalterung **8** besitzt eine am oberen Ende angebrachte Halterung **19**, in der eine Laserleistungsmessvorrichtung **20** wie beispielsweise eine Diode angebracht ist.

**[0055]** Die in [Fig. 6](#) dargestellte Strahlteilerplatte **7** weist eine planparallele Vorder- und Rückseite **7a**, **7b**, auf, auf denen jeweils geeignete Beschichtungen aufgebracht sind. Die Vorderseite **7a** der Platte **7** ist im Bereich **21** des einfallenden Lichtstrahles A durch eine geeignete Beschichtung entspiegelt und im übrigen Bereich, d.h. im Bereich **22** (außerhalb des einfallenden Lichtstrahles A) durch eine geeignete Beschichtung vollverspiegelt. Die Rückseite **7b** der Platte **7** ist in einem Bereich **23** teilverspiegelt und in einem anderen Bereich **24** entspiegelt. Die Platte **7** weist eine Dicke  $f$  auf. Der einfallende Lichtstrahl A tritt im Punkt D ein und wird bei Punkt E durch den teilverspiegelten Bereich **23** auf der Rückseite **7b** der Platte **7** teils reflektiert und teils transmittiert. Der transmittierte Strahl B ist gegenüber dem einfallenden Lichtstrahl A lediglich räumlich versetzt, die Richtung des transmittierten Strahls B stimmt mit der des einfallenden Strahles A überein. Der von dem teilverspiegelten Bereich **23** der Rückseite **7b** reflektierte Strahl **25** wird durch die vollverspiegelte Fläche **22** der Vorderseite **7a** der Platte **7** erneut reflektiert und tritt im Punkt F parallel zu den Strahlen A, B, aus der Platte **7** aus (Strahl C).

**[0056]** Die Platte **7** kann um eine Kippachse P gekippt werden. Die Kippachse P liegt in der Erstreckungsebene der Platte **7** und verläuft parallel zu ihren Seitenflächen, d.h. der Vorderseite **7a** und der Rückseite **7b** und senkrecht zur Strahleinfallebene und durch den Auftreffpunkt D des Lichtstrahles A. Der Auftreffwinkel  $\gamma$  des Lichtstrahles A im Punkt D ist der Winkel zwischen dem einfallenden Lichtstrahl A und der auf den Seitenflächen **7a**, **7ab** stehenden Senkrechten **26**. Dieser Winkel  $\gamma$  ist gleichzeitig der Kippwinkel der Platte **7**. Die in [Fig. 6](#) dargestellte Platte **7** weist ferner einen Überlappungsbereich **27** auf. Der Überlappungsbereich **27**, ist der Bereich, bei dem, bei senkrechter Betrachtung der Platte **7**, der vollverspiegelte Bereich **22** der Vorderseite **7a** und der teilverspiegelte Bereich **23** der Rückseite **7b** sich überlappen. Die Trennlinie **26a** trennt die Bereiche **21** und **22**. Durch Verkippung der Platte **7** und somit die Veränderung von Winkel  $\gamma$  wird der Abstand **28** der beiden aus der Platte **7** austretenden parallelen Lichtstrahlen B, C in einem bestimmten Wertebereich verändert und z.B. den Anforderungen entsprechend eingestellt. Durch eine stufenlose Verkippung der Platte **7** und somit eine stufenlose Änderung des Winkels  $\gamma$ , wird auch der Abstand **28** zwischen den

Strahlen B und C kontinuierlich verändert. Diese Änderung des Strahlenabstandes **28** ist durch den Wert des Winkels  $\gamma$  und die geometrischen Abhängigkeiten zwischen der Lage der Kippachse P, bzw. der Plattensenkrechten **26**, die durch den Auftreffpunkt D des Lichtstrahles A verläuft, und den Austrittspunkten E und F der parallelen Strahlen B, C bestimmt. Für die Erzeugung zweier paralleler Strahlen muß der Überlappungsbereich **27** mindestens so breit sein wie der Abstand zwischen der Kippachse P bzw. der Plattensenkrechten **26** und dem Austrittspunkt E des transmittierten Strahles B, aber geringer als der Abstand zwischen der Kippachse P und dem Austrittspunkt F des zweiten parallelen Strahles C.

**[0057]** In [Fig. 7](#) ist eine Ausführungsform der lichtdurchlässigen Platte **7** dargestellt, die es erlaubt, die Platte **7** für möglichst viele Winkel  $\gamma$  in einem sehr weiten Wertebereich einzusetzen. Dazu ist auf der Vorderseite **7a** der planparallelen Platte **7** jeweils zur Hälfte ein entspiegelter Bereich **29** und ein vollverspiegelter Bereich **30** vorgesehen. Auf der Rückseite **7b** befindet sich ein entspiegelter und ein teilverspiegelter Bereich **31,32**. Wie in [Fig. 7](#) dargestellt, verläuft die Grenzlinie **33** zwischen diesen beiden Bereichen **31,32** auf der Rückseite **7b** der Platte **7** so, dass sie an dem einen Ende einen Schnittpunkt S mit einer Linie aufweist, die der Trennlinie **34** auf der Vorderseite **7b** der Platte **7** zwischen den beiden Bereichen **30,29**, entspricht, besitzt. Das andere Ende der Grenzlinie **33** besitzt einen Schnittpunkt mit einer Linie **34a**, die mit einem Abstand  $\Delta d$  parallel zur Trennlinie **34** verläuft. Der Abstand  $\Delta d$  ist in folgender Weise von der Dicke der Platte  $f$ , dem maximalen Verkippungswinkel  $\gamma$  und dem Brechungsindex des Plattenmaterials abhängig:  $\Delta d = d \tan(\arcsin(\sin \gamma_{\max}/n))$ . Auf der Rückseite **7b** überspannt der entspiegelte Bereich **31** anteilmäßig die kleinere Fläche. Bei senkrechter Aufsicht auf die Platte **7** befindet sich der teilverspiegelte Bereich **32** der Rückseite **7b** im selben Kreisabschnitt wie der entspiegelte Bereich **29** der Vorderseite **7a** und der entspiegelte Bereich **31** der Rückseite **32** befindet sich im selben Kreisabschnitt wie der vollverspiegelte Bereich **30** der Vorderseite **7a**. Die so ausgestaltete Platte **7** ist so gehalten, dass sie entlang der Verkippungsachse **35**, die durch den Auftreffpunkt D des Lichtstrahles verläuft, verschiebbar ist, und durch die kombinierte Verschiebungs- und Verkippbewegung ist der Abstand der austretenden parallelen Strahlen in einem weiten Bereich stufenlos einstellbar. Der Abstand  $a$  der austretenden Strahlen wird wie folgt bestimmt:  $a = 2f \cos \gamma \tan(\arcsin(\sin \gamma/n))$ .

**[0058]** [Fig. 8](#) zeigt eine Ausführungsform der Platte **7**, bei der die beiden Bereiche der Vorderseite und die beiden Bereiche der Rückseite einander entsprechen, so dass kein Überlappungsbereich vorhanden ist. Wie in [Fig. 8](#) gezeigt, um einen großen Bereich der Änderung des Abstandes **36, 37** der austreten-

den Strahlen zu erreichen, wird die Platte 7, in einer zur Richtung des einfallenden Strahles A senkrechten Richtung R verschoben, so dass der Auftreffpunkt D des einfallenden Lichtstrahles A und die Kippachse P entsprechend der Änderung des Strahleinfallwinkels  $\gamma$  voneinander beabstandet werden, damit der transmittierte Strahl B immer den teilverspiegelten Bereich der Rückseite und der andere parallele Strahl C den entspiegelten Bereich der Rückseite trifft.

**[0059]** Für die Glasfaserhalterungen auf der Detektionsseite gibt es zwei Ausführungsformen: In der einen Ausführung werden Glasfaserhalterungen 13a, 13b eingesetzt, die auf kleinstem Raum eine äußerst stabile, manuelle Positionierung der Glasfaseroptik erlauben, wobei sämtliche erforderlichen Freiheitsgrade zur Verfügung stehen. Diese Ausführungsform ist kostengünstig. Die zweite Ausführungsform wird für die Justage der Glasfaserhalterungen 13a, 13b und des Spiegels 15 Komponenten zur selbstjustierenden Feinjustage eingesetzt.

**[0060]** Fig. 9 und Fig. 10 zeigen die Konstruktion der Glasfaserhalterungen 13a, 13b für die erste Ausführungsform.

**[0061]** Die Glasfasern werden durch eine geeignete Buchse 39 gehalten. Die Buchse 39 befindet sich an einer gegenüber der Grundplatte 1a verkippbaren Platte 40. Die Verkippung wird dadurch ermöglicht, dass sich zwischen der Platte 40 und der Grundplatte 1a ein Ring 41 aus einem gummiartigen Material befindet und die Platte 40 durch Schrauben 42 an die Grundplatte 1a gedrückt werden kann. Zu diesem Zweck sind in die Platte 40 Bohrungen 43 angebracht, durch die Schrauben 42 durchgeführt werden, und an der Grundplatte 1 sind Gewinde 44 angebracht, um die Schrauben 42 festzuziehen. Um nach der Justage die Stabilität zu erhöhen wird die Platte 40 gegen die Grundplatte 1a durch Feststellschrauben 45 gekontert. Die Grundplatte 1a befindet sich in einer weiteren Halterung 31. Die Grundplatte 1a lässt sich verschieben durch ein System bestehend aus einer Verstellerschraube 48, einem Feststellring 49, einer Tellerfeder 50 und einer Schraubenaufnahme 51, die durch die Schrauben 52 an die Halterung 46 angebracht ist. Die Verschiebungsrichtung verläuft senkrecht zur Erstreckungsebene der Grundplatte 1a und senkrecht zur optischen Ebene. In die Halterung 46 sind Bohrungen 53 angebracht, durch die die Schrauben 54 durchgeführt werden und an der Grundplatte 1a befindet sich ein Gewinde 55 mit deren Hilfe die Schrauben festgezogen werden können. Die Grundplatte 1a lässt sich durch Feststellschrauben 56 an die Halterung 46 festgeschrauben. Die Halterung 46 ist mitsamt der Grundplatte 1a und der Platte 40 auch in eine Richtung verschiebbar, die parallel zur optischen Ebene und zur Erstreckungsebene der Grundplatte 1a verläuft. Hierzu befindet sich

an der Halterung 46 ein weiteres System bestehend aus einer Verstellerschraube 57, einem Feststellring 58, einer Tellerfeder 59 und einer Schraubenaufnahme 60, die durch Schrauben 61 an der Grundplatte 1 der Vorrichtung angebracht ist. Des Weiteren befindet sich an der Halterung 46 eine Lasche 61, die in einer Führung 62 verschoben werden kann. Die Führung 62 ist durch Schrauben 63 an der Grundplatte 1 befestigt. Die Laschen 60 lassen sich nach Abschluß der Justage durch die Feststellschrauben 64 an der Grundplatte 1 befestigen.

**[0062]** Für das selbstjustierende System werden für die Verschiebung der Grundplatte 1a motorisierte Antriebe und Piezo-Elemente eingesetzt. Zu diesem Zweck werden bekannte Minipositioniereinheiten verwendet, die so angebracht sind, dass sich die Grundplatte 1a in eine Richtung verschieben lässt, die senkrecht zur optischen Ebene steht und in eine weitere Richtung verschieben lässt, die parallel zur optischen Ebene und zur Erstreckungsebene der Grundplatte 1a verläuft. Für die Verkippung des Spiegels 15 werden ebenfalls motorisierte Antriebe und Piezo-Elemente eingesetzt. Über eine intelligente Software-Ansteuerung werden die optischen Komponenten in einem iterativen Verfahren so justiert so dass eine maximale Signalamplitude erreicht wird. Die Software-Ansteuerung gewährleistet darüberhinaus eine erhöhte Langzeitstabilität der optimalen Justage.

**[0063]** In Fig. 11 ist eine weitere vorteilhafte Ausführungsform der in Fig. 3 dargestellten Vorrichtung. Hierbei ist eine weitere Bohrung 65d vorgesehen, durch die das Streulicht unter einem Winkel  $\theta_1$  austritt, der größer als  $90^\circ$  ist, durch die Bohrung 65e tritt das Streulicht unter einem Winkel  $\theta_2$ , der kleiner ist als  $90^\circ$  aus. Durch die Möglichkeit, die Charakteristik des Streulichtes zusätzlich zu  $\theta = 90^\circ$  in Rückwärts- $\theta_1$  und Vorwärtsrichtung  $\theta_2$  untersuchen zu können, werden mehr Informationen über die zu untersuchende Probe erhalten. Unter diesen Winkeln  $\theta = 90^\circ$ ,  $\theta_2$ ,  $\theta_1$  befindet sich jeweils ein System aus Spiegel 15, Glasfaserhalterungen 13a, 13b und Glasfasern 14a, 14b. Ein Teil des Streulichtes trifft auf die Spiegel 15, die das Streulicht zu den Glasfaserhalterungen 13a umlenken so, dass die Intensität des Streulichtes von den Glasfasern 14a aufgesammelt werden kann. Hierbei kann die Position der Elemente 15, 13a und 13b zueinander variabel und unter dem Gesichtspunkt einer platzsparenden Raumaufteilung erfolgen. Die Spiegel 15 befinden sich in Kipphalterungen, durch die die Spiegel 15 jeweils um zwei Kippachsen verkippbar werden können. Eine der Kippachsen ermöglicht eine Verkippung um eine senkrecht auf der optischen Ebene stehenden Achse. Die andere Kippachse liegt parallel zur optischen Ebene und zur Erstreckungsebene des Spiegels. Beide Achsen verlaufen durch einen gemeinsamen Punkt, der sich unmittelbar hinter dem Spiegel befin-

det. Die Glasfaserhalterungen **13a**, **13b** sind so justiert, dass nur derjenige Teil des Streulichtes von den Glasfasern aufgenommen werden kann, dessen Geometrie mit der der einfallenden Laserstrahlen übereinstimmt. D. h., dass die Verkippungswinkel der Glasfasern **13a**, **13b** gegenüber der optischen Ebene mit dem Verkippungswinkel übereinstimmt, mit dem die beiden einfallenden Laserstrahlen durch die fokussierende Wirkung der Linse **4** gegenüber der optischen Ebene verkippert sind.

**[0064]** **Fig. 12** (Draufsicht) und **Fig. 13** (Seitanansicht) zeigen eine weitere vorteilhafte Ausführung für einen variablen Streuwinkel  $\theta$ . In diesem Fall werden weitere Komponenten benötigt, die im allgemeinen die Streuebenen erhöhen. Aus diesem Grunde werden die Komponenten Laser **2**, Strahlteiler **3** und Linse **4** durch geeignete Unterbauten **66** in die passende Höhe gehoben. Ein System bestehend aus Spiegel **15** und den Glasfaserhalterungen **13a**, **13b** befindet sich auf einer Platte **67**, die mit einer Drehvorrichtung **68** verbunden ist. Auf diese Weise können die Komponenten Spiegel **15** und Glasfaserhalterungen **13a**, **13b** um den gemeinsamen Mittelpunkt der Halterung **69** und der Drehvorrichtung **68** gedreht werden. Bevorzugt enthält die Halterung **69** einen zylindrischen Glasbehälter **70**, in deren Mitte die Probenküvette **6** eingebracht wird. Die Halterung **69** besitzt in geeigneter Höhe einen Schlitz **71**, so dass das Streulicht zu den Glasfasern gelangen kann. In einer vorteilhaften Ausführung befindet sich die Halterung auf einem Tisch **72**, der so ausgestaltet ist, daß sich die Halterung **69** so verschieben und verkippert läßt, daß die Längsachse der Glasküvette **70** senkrecht zur optischen Ebene steht und dass der der Mittelpunkt der Küvette mit dem Drehpunkt der Drehvorrichtung **68** übereinstimmt. Des weiteren ist es günstig, wenn sich der Tisch **72** und die Drehvorrichtung **68** auf einer weiteren Platte **73** befinden, die sich so verschieben läßt, dass sowohl der Mittelpunkt des zylindrischen Badbehälters **70** als auch der Mittelpunkt der Drehvorrichtung **68** von den einfallenden Laserstrahlen getroffen werden.

**[0065]** Für die in den **Fig. 12** und **Fig. 13** beschriebenen Anordnungen ist der Einsatz von stabilen Glasfaserhalterungen **13a**, **13b**, einer stabilen Vorrichtung **3** für die Strahlteilung des Laserstrahles A in zwei parallele Laserstrahlen B, C sowie der Einsatz des Spiegels **15** als Justier- und Trennkomponente mit stabiler Kipphalterung besonders vorteilhaft, da durch den Betrieb der Drehvorrichtung Erschütterungen auftreten können, die die Justage empfindlich stören könnten. In demselben Sinne ist es in einer weiteren Ausführung besonders vorteilhaft, diese Anordnung mit motorisierten und anstreuerbaren Komponenten für die Verkippung des Spiegel **15** und der Glasfaserhalten **14a**, **14b** bzw. der Grundplatte **1a** auszustatten und mit einer intelligenten Software eine selbstjustierende Vorrichtung zu gewährleisten.

**[0066]** **Fig. 14** zeigt eine weitere vorteilhafte Ausführung für die Anordnung der Komponenten auf der Detektionsseite. Durch den Einsatz des Spiegels als Justagehilfe und Trennung von Streuebenen lassen sich die Komponenten Glasfaserhalterung **13a** und Glasfaser (**14a**) in jeder beliebigen Position bezüglich der Glasfaserhalterung **13b** anordnen. Dadurch läßt sich ohne weiteres ein weiteres System bestehend aus Spiegel **15b**, Glasfaserhalterung **13c** und Glasfaser **14c** anbringen, wodurch eine weitere Streuebene beim selben Streuwinkel  $\theta$  zur Verfügung steht.

**[0067]** In **Fig. 15** ist ein Glasprisma **74** dargestellt mit dem Laserstrahl A so in zwei Laserstrahlen K und L aufgespalten wird, dass diese in einem Punkt M, der sich innerhalb des beleuchteten Probenvolumens befindet, überlappen. Der Laserstrahl A trifft auf die schräge, entspiegelte Fläche **75** des Glasprismas **74**. Der Strahl A trifft bei S auf eine teilverspiegelte Fläche (**76**). Ein Teil des Strahles wird durchgelassen und tritt bei Q wieder aus dem Glasprisma **74** aus. Die Fläche des Glasprismas an der Stelle Q ist so geneigt, dass der austretende Strahl K den Punkt M durchläuft. Der andere Teil des einfallenden Laserstrahles A wird an der teilverspiegelten Fläche **76** reflektiert und trifft am Punkt N auf eine vollverspiegelte Fläche, wird dort vollständig reflektiert und tritt bei J aus dem Glasprisma **74** aus. Die Fläche des Glasprismas, die den Punkt J beinhaltet, ist so geneigt, dass der austretende Strahl L ebenfalls durch den Punkt M verläuft.

**[0068]** In den **Fig. 16–Fig. 21** ist eine erfindungsgemäße Küvettenhalterung, die eine Verschiebung der Küvette in der horizontalen Ebene in x-y Richtung ermöglicht, dargestellt. Dabei befindet sich die Küvette **6** in einer x-y-Verschiebeeinrichtung, die aus einer ersten, unteren Verschiebevorrichtung **77** und einer zweiten, oberen Verschiebevorrichtung **78** besteht. Die obere Verschiebevorrichtung **78** besitzt mittig eine Öffnung so, daß die Küvette **6** möglichst präzise und spielfrei von oben eingeführt werden kann. Die untere Verschiebevorrichtung **77** besitzt eine Öffnung **78** zwei Schienen **79** und **80**: die untere Schiene **79** und die senkrecht dazu angeordnete, obere Schiene **80**. Die obere, erste Verschiebevorrichtung **78** wird in die obere Schiene (**80**) eingesetzt und läßt sich in eine Richtung verschieben. Die untere Verschiebevorrichtung **77** läßt sich über die untere Schiene **79** auf eine Halterung **81** aufsetzen. Die Halterung **81** besitzt auf der Oberseite wiederum eine passende Gegenschiene **82** zu Schiene **79**. **Fig. 17b** zeigt die Halterung der **Fig. 16** von der Seite. **Fig. 17a** zeigt die Halterung **81** ebenfalls in Seitenansicht, allerdings um  $90^\circ$  verdreht. Halterung **81** besitzt eine Öffnung **81a** in der sich in einer vorteilhaften Ausführung ein zylindrischer, lichtdurchlässiger und mit Flüssigkeit gefüllter Behälter **81b** befindet. Des weiteren kann die Halterung **81** durch eine Befestigungsvorrichtung **82** in die Gesamthalterung **83** gedrückt wer-

den. Die Innenform der Gesamthalterung ist passend zur Außenform der Halterung **84** konisch geformt. In einer vorteilhaften Ausführung befindet sich die Gesamthalterung **83** innerhalb einer isolierenden Schicht **84**.

[0069] In einer vorteilhaften Ausführung sind die Schienen **80** und/oder **79** und/oder die Gegenschiene **82** als Schwalbenschwanzführungen ([Abb. 19–Abb. 21](#)) oder als Prismenführung ausgeführt.

[0070] In [Fig. 22](#) ist schematisch der Strahlenverlauf bei der Anordnung der Küvette **6** in einem zylindrischen Badbehälter **85** dargestellt.

[0071] In [Fig. 23](#) und [Fig. 24](#) ist die Ausrichtung eines Laserstrahles A senkrecht auf die Küvettenwandung dargestellt, wie im Verfahrensschritt **1** beschrieben. Der Laserstrahl A wird an der Küvettenwand, die entweder innen- oder außenseitig verspiegelt oder mit einer schwarzen Flüssigkeit gefüllt ist, reflektiert. Dieser reflektierte Strahl A1 läuft in dem einfallenden Strahl A zurück. Eine, im Schritt drei des Verfahrens in die Küvette **6** eingesetzte Spiegelfläche **87** verläuft durch die Mittelachse **86** der Küvette **6**.

### Patentansprüche

1. Verfahren zur Unterdrückung der Mehrfachstreuung bei Untersuchungen an trüben Medien mittels dreidimensionaler Kreuzkorrelationstechnik, bei dem zur Justage des Verfahrens ein Medium in einem Untersuchungsbehälter (**6**) angeordnet wird und durch zwei parallele Laserstrahlen (B, C), die so geneigt werden, dass deren Kreuzungspunkt in dem Untersuchungsbehälter (**6**) liegt, beleuchtet wird und dass Detektionsoptiken (**14a**, **14b**) auf diesen Kreuzungspunkt so justiert sind, dass die Geometrie des detektierten Streulichts mit der der Laserstrahlen (B, C) übereinstimmt und wobei das Streulicht von den Detektionsoptiken (**14a**, **14b**) aufgenommen wird und mittels eines verkippbaren Spiegels (**15**) die Amplitude der Kreuzkorrelationsfunktionen optimiert wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass zunächst ein Laserstrahl (A) so ausgerichtet wird, dass er die Wand des Untersuchungsbehälters (**6**) senkrecht trifft und an dieser reflektiert wird so, dass der reflektierte Strahl (A1) in dem einfallenden Laserstrahl (A) zurückläuft und dass der Laserstrahl (A) in zwei parallele Laserstrahlen (B, C) aufgespalten wird und dass diese parallelen Laserstrahlen (B, C) so geneigt werden, dass deren Kreuzungspunkt im Untersuchungsbehälter (**6**) liegt und dass in einem weiteren Schritt eine durch diesen Kreuzungspunkt verlaufende Spiegelfläche (**87**) in den Untersuchungsbehälter (**6**) eingesetzt wird und dass dadurch die kreuzenden Laserstrahlen (B, C) gespiegelt werden und dass das gespiegelte Laserlicht durch die auf der Detektionsseite befindlichen Detektionsoptiken (**14a**, **14b**) auf-

genommen wird und anschließend die Spiegelfläche (**87**) herausgenommen und in den Untersuchungsbehälter (**6**) eine schwach streuende Flüssigkeit eingefüllt und die Amplitude der Kreuzkorrelationsfunktionen optimiert wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass in einem weiteren Schritt des Verfahrens ein mit Flüssigkeit gefüllter, zylindrischer, lichtdurchlässiger Behälter (**85**) so eingesetzt wird, dass er den Untersuchungsbehälter (**6**) umschließt und dass dann der Kreuzungspunkt der Laserstrahlen (B, C) so nachjustiert wird, dass er auf der Mittelachse (**86**) des Untersuchungsbehälters (**6**) liegt und dass die Position der Detektionsoptiken (**14a**, **14b**) so nachjustiert wird, dass das Überlappvolumen auf der Mittelachse (**86**) des Untersuchungsbehälters (**6**) liegt und dass die Amplitude anschließend weiter optimiert wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass in diesem Schritt des Verfahrens der zylindrische Badbehälter (**85**) mit Wasser und der Untersuchungsbehälter (**6**) mit einer trüben Flüssigkeit gefüllt ist.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Durchmesser des mit Flüssigkeit gefüllten zylindrischen Badbehälters (**85**) so ist, dass die Detektionsoptik in der zur Längsachse des zylindrischen Bades senkrechten Richtung Streulicht aufnimmt, das von der Seite der Detektionsoptik aus betrachtet, aus konvergenten oder parallelen Strahlenbündeln des Streulichts besteht.

5. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Positionierung des Laserstrahles (A) durch Verkippvorrichtungen für den Laser (**2**) und/oder durch Spiegel erfolgt.

6. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Untersuchungsbehälter eine Küvette (**6**) ist.

7. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Detektionsoptiken durch Glasfasern (**14a**, **14b**) mit einem integriertem Linsensystem gebildet sind.

8. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zur Positionierung des Laserstrahles (A) senkrecht auf die Küvettenwand in diese eine dunkle Flüssigkeit eingebracht wird oder dass die Küvette (**6**) verspiegelt ist.

9. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass sich die Laserstrahlen (B, C) innerhalb der Küvette (**6**) kreuzen.

10. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass sich die Laserstrahlen (B, C) auf der Mittelachse (86) der Küvette (6) kreuzen.

11. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Spiegelfläche (87) diagonal in der Küvette (6) angeordnet ist.

12. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Küvette (6) aus Glas oder Kunststoff besteht.

13. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zur Positionierung des Laserstrahles (A) senkrecht auf die Küvettenwand die Position des Laserstrahles (A) und des von der Küvette (6) reflektierten Strahles (A1) durch ein in deren Strahlengang eingebrachtes Glasplättchen festgestellt wird.

14. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass für die Justage des Kreuzungspunktes der geneigten parallelen Laserstrahlen (B, C) auf einer Längs- oder der Mittelachse (86) der Küvette (6) in diese ein leicht trübes Medium eingebracht wird.

15. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass der Brechungsindex des leicht trüben Mediums dem Brechungsindex der später zu untersuchenden Medien möglichst nahe kommt.

16. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Laserstrahl (A) zunächst in zwei parallele Laserstrahlen (B, C) aufgespalten wird und dass diese Laserstrahlen (B, C) dann mittels einer Linse (4) in der Küvette (6) fokussiert werden.

17. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass der Laserstrahl (A) zunächst durch eine Linse fokussiert und anschließend in zwei Laserstrahlen (B, C), die so geneigt werden, dass deren Kreuzungspunkt innerhalb der Küvette (6) liegt, aufgespalten wird.

18. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Laserstrahl (A) mittels eines Prismas (74) in zwei Laserstrahlen (K, L), deren Kreuzungspunkt (M) innerhalb der Küvette (6) liegt, aufgespalten wird.

19. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Küvette (6) mit der darin angeordneten Spiegelfläche (87) mit Flüssigkeit gefüllt ist, deren Brechungsindex dem Brechungsindex der zu untersuchenden Medien nahe kommt.

20. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche 1 und 5 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass der Untersuchungsbehälter (6) in einem zylindrischen, mit Flüssigkeit gefüllten Badbehälter (85) angeordnet ist.

21. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass beim Einsatz einer rechteckigen Küvette der Laserstrahl (A) senkrecht auf die vertikalen Wände der Küvette ausgerichtet wird.

22. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Streulicht in die Detektionsoptiken (14a, 14b) bei einem konstanten Streuwinkel eingekoppelt wird.

23. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche 1 bis 21, dadurch gekennzeichnet, dass das Verfahren für Untersuchungen mit variabler Streuwinkeleinstellung eingesetzt wird.

24. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Spiegelfläche (87) so angeordnet ist, dass sie sich durch die Mittelachse (86) der Küvettenhalterung (5) erstreckt.

25. Vorrichtung zur Unterdrückung der Mehrfachstreuung bei Untersuchungen an trüben Medien mittels drei dimensionaler Kreuzkorrelationstechnik zur Durchführung des Verfahrens nach einem der vorangegangenen Ansprüche, mit einer auf einer Grundplatte (1) angeordneten Beleuchtungs- und Detektionsseite, wobei an der Beleuchtungsseite eine Laserlichtquelle (2), eine Anordnung (3) zur Erzeugung paralleler Laserstrahlen und eine diese neigende Vorrichtung (4) sowie ein in einer Halterung (5) angeordneter Untersuchungsbehälter (6) mit dem zu untersuchenden Medium angeordnet sind und wobei auf der Detektionsseite wenigstens ein verkipperbarer Spiegel (15) und wenigstens zwei in Halterungen angeordnete Detektionsoptiken (14a, 14b) zur Aufnahme des Streulichts und mit mindestens zwei Photonenvervielfacher und einem Korrelator zur Aufnahme von Kreuz- oder Autokorrelationsfunktionen vorgesehen sind, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung tragbar ist.

26. Vorrichtung nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, dass der Untersuchungsbehälter eine zylindrische oder rechteckige Küvette (6) ist.

27. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 25 bis 26, dadurch gekennzeichnet, dass die Detektionsoptiken durch Glasfasern (14a, 14b) mit einem integrierten Linsensystem gebildet sind.

28. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 25 bis 27, dadurch gekennzeichnet, dass die Anordnung zur Erzeugung paralleler Strahlen ein Strahlteiler (4)

ist.

29. Vorrichtung nach Anspruch 29, dadurch gekennzeichnet, dass der Strahlteiler (4) in einer mit der Grundplatte (1) verbundenen Positionierhalterung (8) fest angeordnet ist.

30. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 25 bis 29, dadurch gekennzeichnet, dass die Positionierhalterung (8) mit der Grundplatte (1) lösbar fest verbunden sind.

31. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 25 bis 30, dadurch gekennzeichnet, dass der Strahlteiler (4) durch eine planparallele lichtdurchlässige Platte (7) gebildet ist, mit einer Vorderseite (7a), auf die der Laserstrahl auftrifft und aufgespalten wird so, dass er an der Rückseite die Platte (7) als zwei parallele Strahlen austritt, wobei die Vorderseite (7a) der Platte (7) in dem Bereich (22), der außerhalb des Strahleinfalls liegt, vollverspiegelt und die Rückseite (7b) im Bereich (23) des Austritts des transmittierten Strahles (B) teilverspiegelt ist.

32. Vorrichtung nach Anspruch 31, dadurch gekennzeichnet, dass die Platte (7) zur Veränderung des Strahleinfallwinkels( $\gamma$ ) um eine Kippachse (P), die in der Erstreckungsebene der Platte (7) parallel zu den planparallelen Seitenflächen (7a, 7b) der Platte (7) liegt und durch den Auftreffpunkt (D) des einfallenden Lichtstrahles (A) verläuft, kippbar ist.

33. Vorrichtung nach Anspruch 32, dadurch gekennzeichnet, dass die Kippachse (P) senkrecht zur Strahleinfallebene durch den Auftreffpunkt (D) des einfallenden Lichtstrahles (A) verläuft.

34. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 31 bis 33, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorderseite (7a) der Platte (7) im Bereich (21) des Strahleinfalls entspiegelt ist.

35. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 31 bis 34, dadurch gekennzeichnet, dass die Rückseite (7b) der Platte (7) im Bereich (24) des Austritts des von dem vollverspiegelten Bereich (22) der Vorderseite (7a) reflektierten Strahles (C) entspiegelt ist.

36. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 31 bis 35, dadurch gekennzeichnet, dass bei senkrechter Aufsicht auf die Platte (7) ein Überlappungsbereich (27) vorhanden ist, in dem sich der teilverspiegelte Bereich (23) der Rückseite (7b) mit dem vollverspiegelten Bereich (22) der Vorderseite (7a) überlappt.

37. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 31 bis 36, dadurch gekennzeichnet, dass der Überlappungsbereich so ausgestaltet ist, dass der teilverspiegelte Bereich (32) der Rückseite (7b) der Platte (7) von einer Linie (33) ausgeht, die der Trennlinie

(34) zwischen dem vollverspiegelten Bereich (30) und dem Bereich (29) des Strahleinfalls, bzw. dem entspiegelten Bereich (29) der Vorderseite (7a) entspricht und sich in Richtung des vollverspiegelten Bereichs (30) der Vorderseite (7a) erstreckt, und auf eine parallele Linie (34a) trifft, deren Abstand ( $\Delta d$ ) von der Trennlinie (34) in Abhängigkeit von der Dicke (f) der Platte (7), dem Strahleinfallwinkel ( $\gamma$ ) und dem Brechungsindex (n) des Plattenmaterials bestimmt wird, und die Platte (7) zur Änderung des Strahleinfallwinkels ( $\gamma$ ) um die Kippachse (35) kippbar und entlang derselben verschiebbar ist.

38. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 31 bis 37, dadurch gekennzeichnet, dass der teilverspiegelte Bereich (23) der Rückseite (7b) dem entspiegelten Bereich (21) der Vorderseite (7a) und der vollverspiegelte Bereich (22) der Vorderseite (7a) dem entspiegelten Bereich (24) der Rückseite (7b) entspricht und die Platte (7) um die Kippachse (P) zur Änderung des Strahleinfallwinkels ( $\gamma$ ) kippbar und in einer zur Kippachse (P) senkrechten Ebene in der zur Richtung des einfallenden Strahles (A) senkrechten Richtung (R) verschiebbar ist so, dass der Auftreffpunkt des Lichtstrahls (A) und die Kippachse (P) entsprechend der Änderung des Strahleinfallwinkels ( $\gamma$ ) voneinander beabstandbar sind.

39. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 31 bis 40, dadurch gekennzeichnet, dass der teilverspiegelte Bereich (23) der Rückseite (7b) dem entspiegelten Bereich (21) der Vorderseite (7a) und der vollverspiegelte Bereich (22) der Vorderseite (7a) dem entspiegelten Bereich (24) der Rückseite (7b) entspricht und die Platte (7) um die Kippachse (P) zur Änderung des Strahleinfallwinkels ( $\gamma$ ) kippbar und in zur Kippachse (P) und zur Richtung des einfallenden Strahles (A) senkrechten Richtung (R) verschiebbar ist so, dass der Auftreffpunkt des Lichtstrahls (A) und die Kippachse (P) entsprechend der Änderung des Strahleinfallwinkels ( $\gamma$ ) voneinander beabstandbar sind.

40. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 31 bis 39, dadurch gekennzeichnet, dass die Platte (7) eine Glasplatte ist.

41. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 31 bis 40, dadurch gekennzeichnet, dass die entspiegelten, teilverspiegelten und vollverspiegelten Bereiche der Platte (7) durch eine Beschichtung aus Aluminium oder Silber, oder durch eine dielektrische Beschichtung realisiert sind.

42. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 25 bis 41, dadurch gekennzeichnet, dass die Platte in der Positionierhalterung (8) unter einem Neigungswinkel von  $45^\circ$  zur optischen Ebene angeordnet ist.

43. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 25 bis 42, dadurch gekennzeichnet, dass die in einer Fas-

sung befindliche Strahlteilerplatte (7) mit seiner gesamten Fläche an einer Fläche (16) der Positionierhalterung (8) fest anliegt.

44. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 25 bis 43, dadurch gekennzeichnet, dass die Fläche (16) der Positionierhalterung (8) unter einem für die Untersuchungen bestimmten, festen Winkel zur optischen Ebene geneigt ist.

45. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 25 bis 44, dadurch gekennzeichnet, dass als Strahlteiler ein Glasprisma (74) vorgesehen ist, welches den Laserstrahl (A) in zwei Teilstrahlen (K, L) aufspaltet, die so geneigt sind, dass sie sich innerhalb der Küvette (6) kreuzen.

46. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 25 bis 45, dadurch gekennzeichnet, dass die Küvettenhalterung (8) zweiteilig ausgebildet ist und dass die Innenwandung der Außenhalterung und die Außenwandung der Innenhalterung konisch ausgebildet sind.

47. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 25 bis 46, dadurch gekennzeichnet, dass die Küvettenhalterung (8) temperierbar und isolierbar ist.

48. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 24 bis 47, dadurch gekennzeichnet, dass die Küvettenhalterung eine stufenlos verstellbare x-y Verschiebeeinrichtung (77, 78) aufweist.

49. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 24 bis 48, dadurch gekennzeichnet, dass die Küvettenhalterung mehrere Öffnungen für das unter verschiedenen Winkeln transmittierte Laserlicht aufweist.

50. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 25 bis 49, dadurch gekennzeichnet, dass die Glasfaserhalterungen (13a, 13b) manuell oder durch einen Motor ansteuerbar, verstellbar sind.

51. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 25 bis 50, dadurch gekennzeichnet, dass auf der Detektionsseite ein System aus Spiegel (15, 15b) und Glasfasern (14a, 14b, 14c) für die Detektion des unter verschiedenen Winkeln transmittierten Streulichts vorgesehen ist.

52. Vorrichtung nach Anspruch 51, dadurch gekennzeichnet, dass die Position der einzelnen Spiegel und Glasfasern zueinander variabel einstellbar ist.

Es folgen 24 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

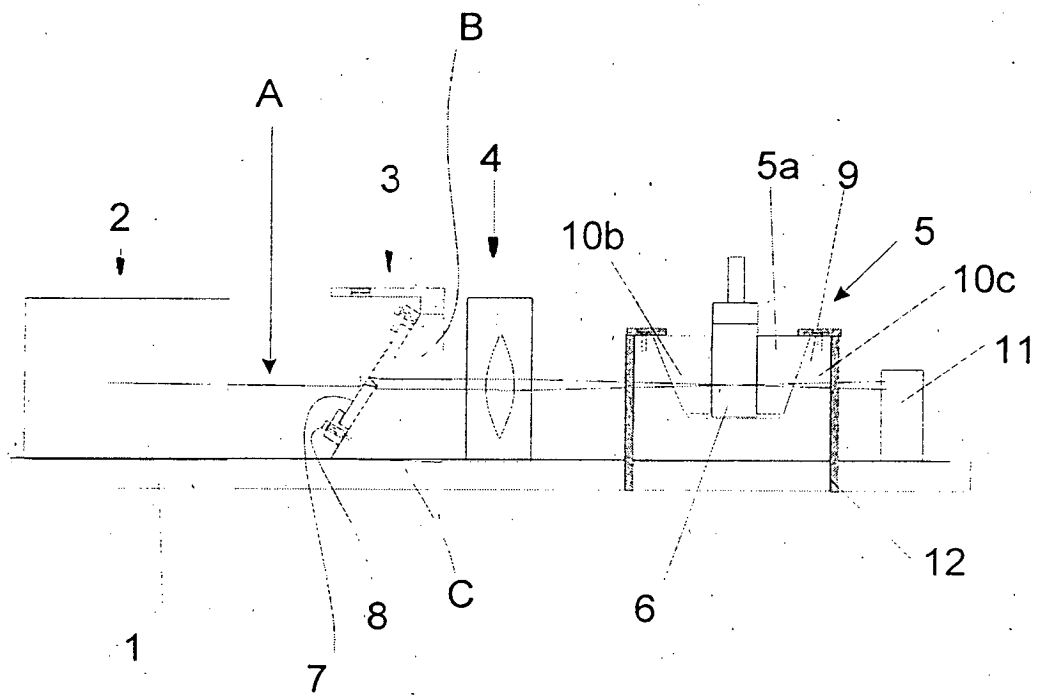


Fig. 1

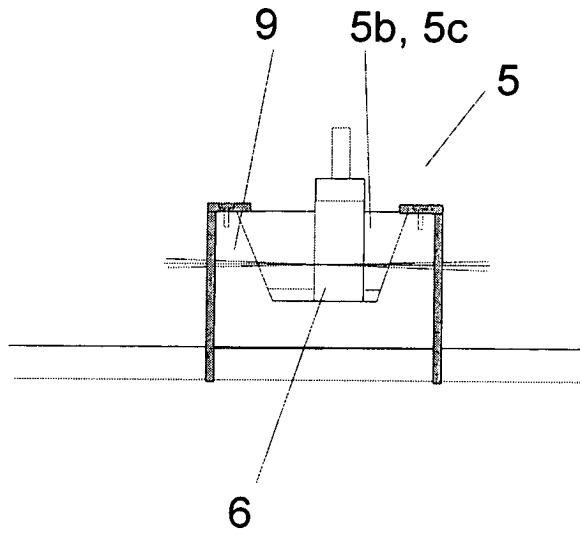


Fig. 2

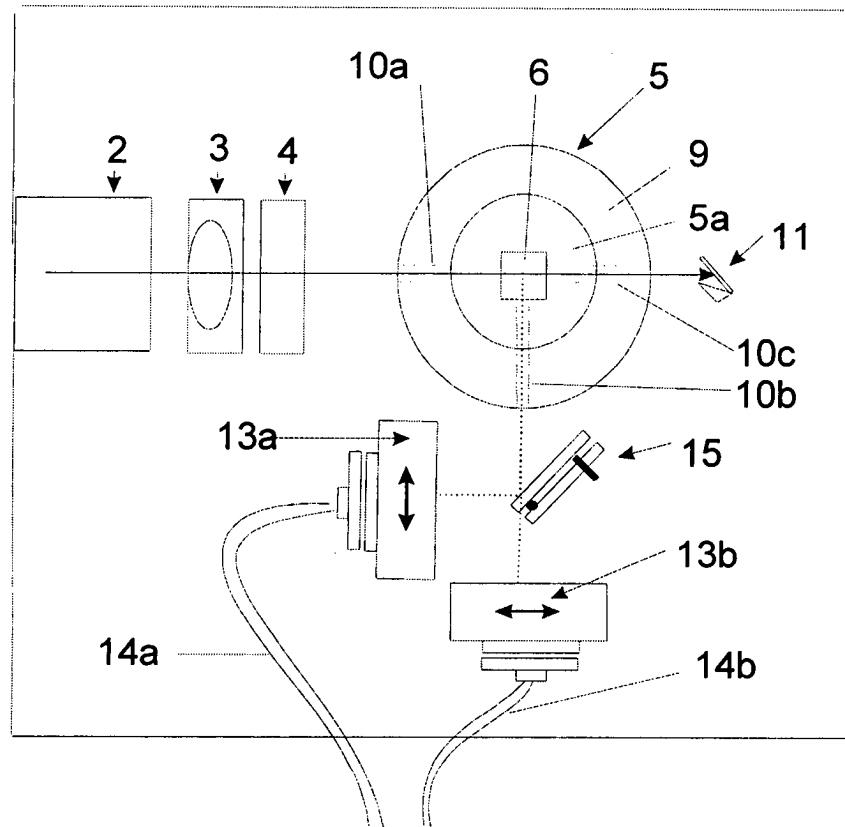


Fig. 3

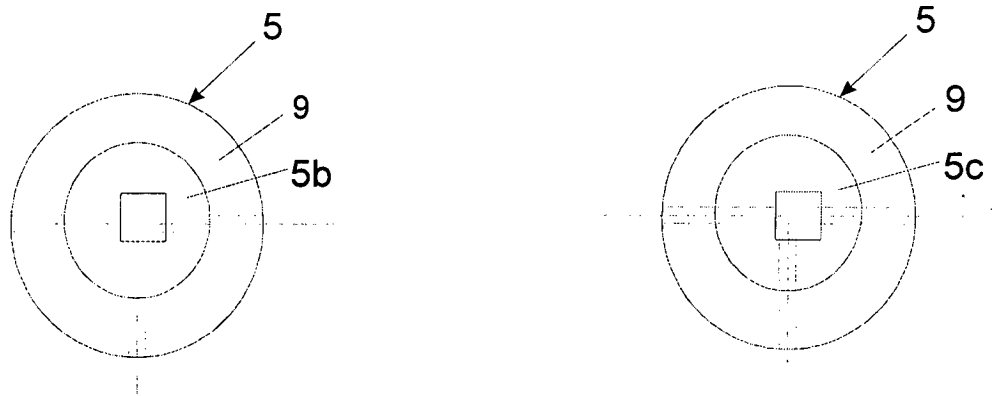


Fig. 4

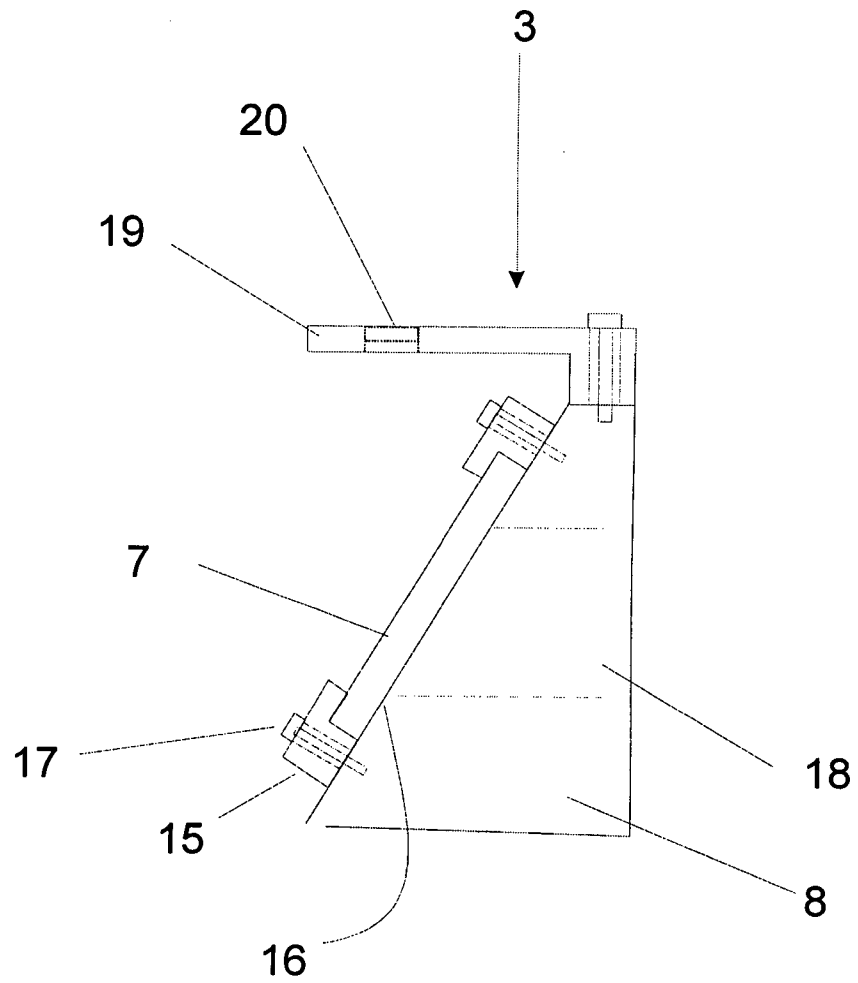


Fig. 5



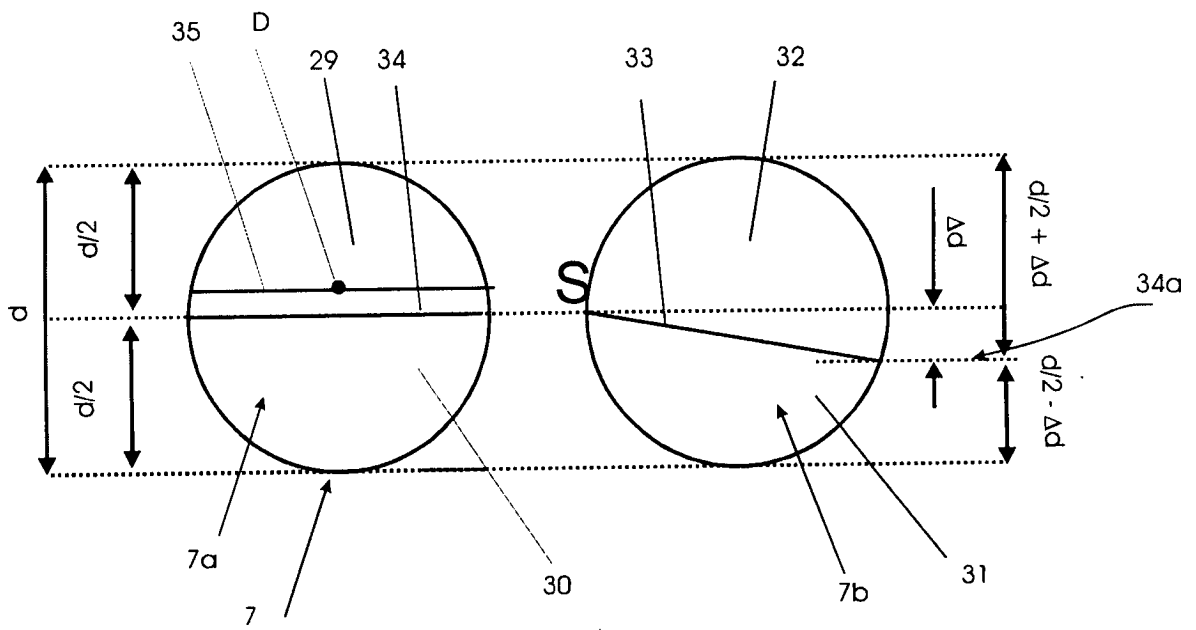


Fig. 7

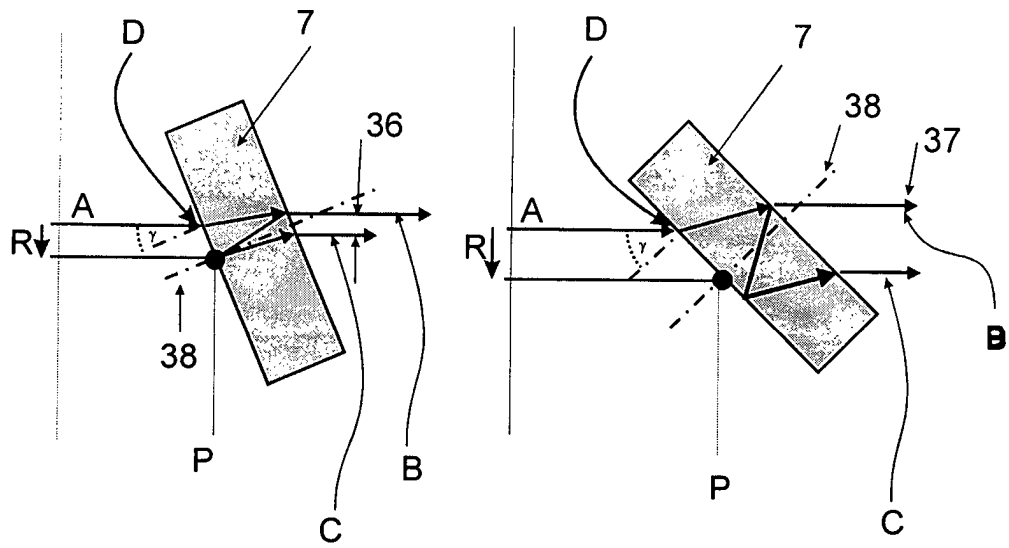


Fig. 8

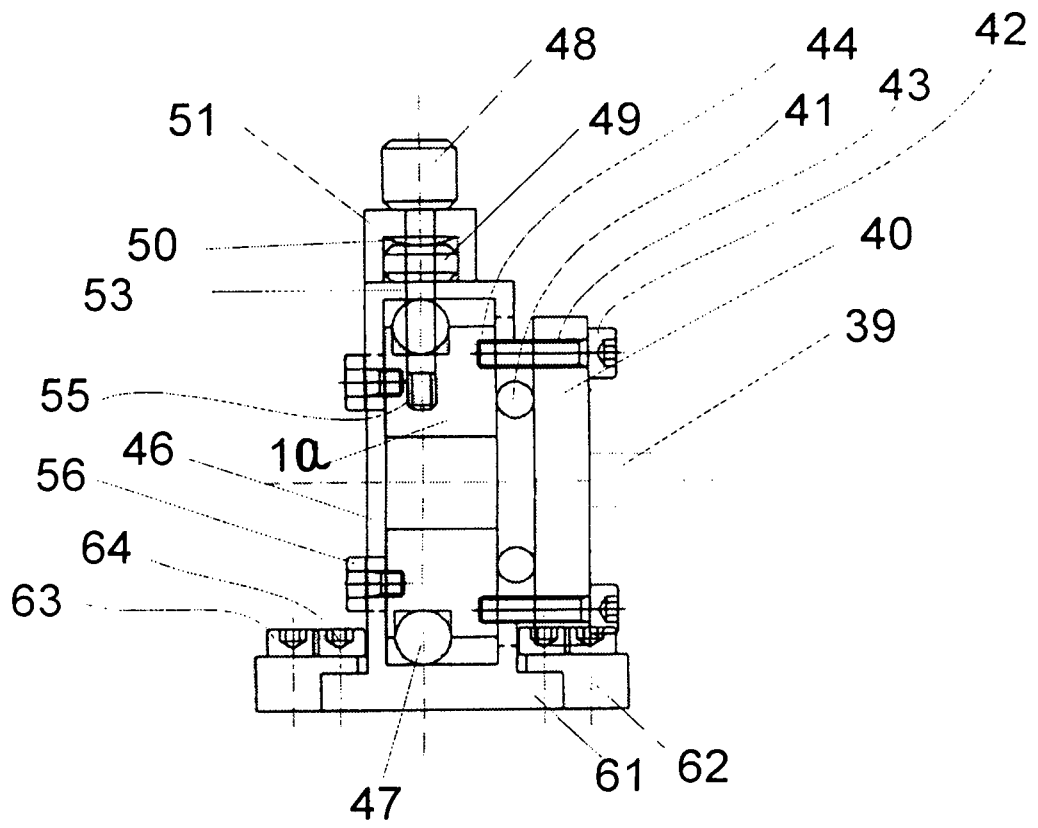


Fig. 9

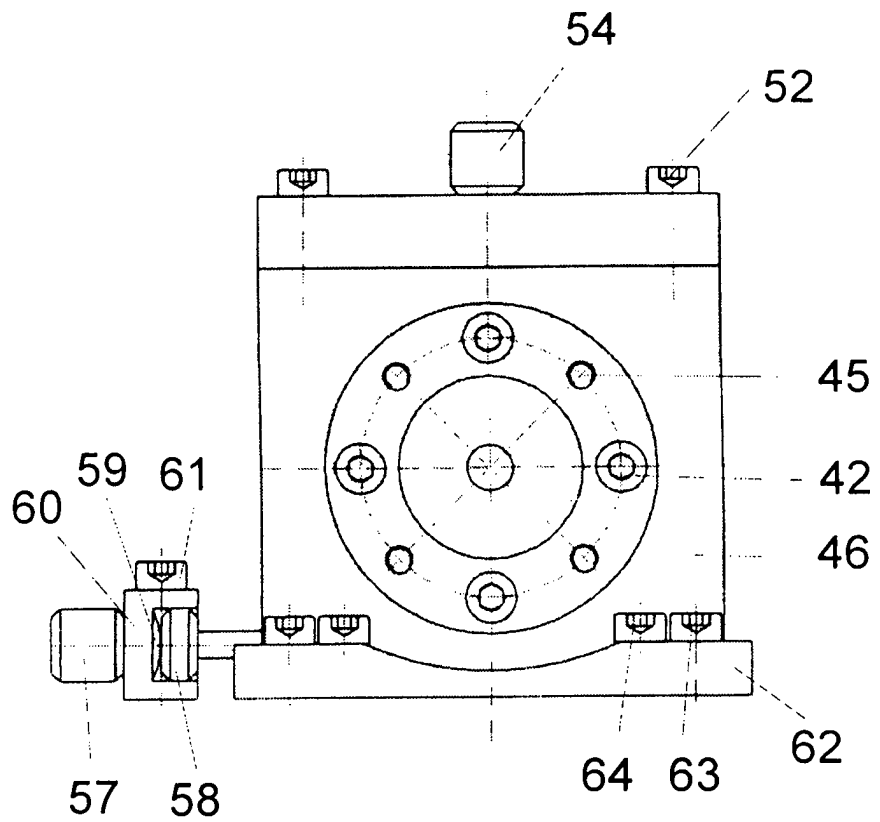


Fig. 10

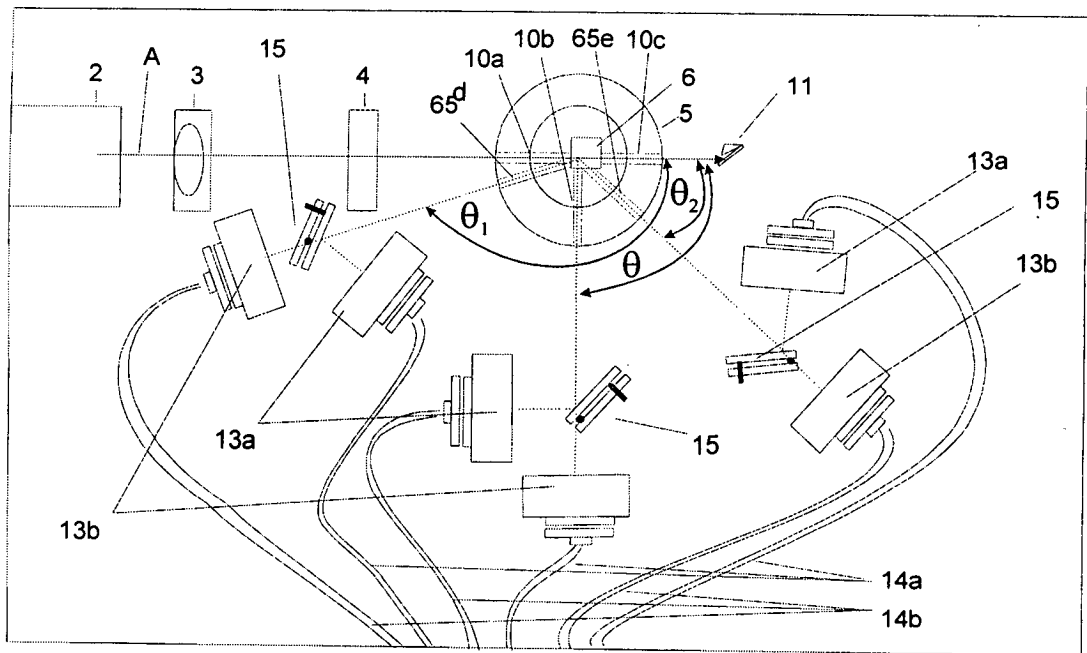


Fig. 11

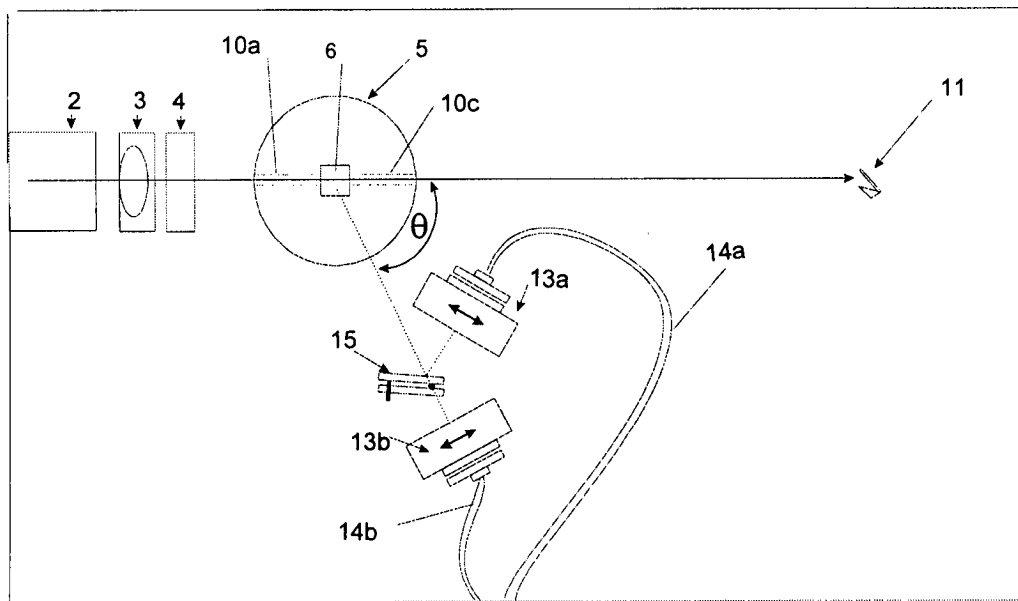


Fig. 12

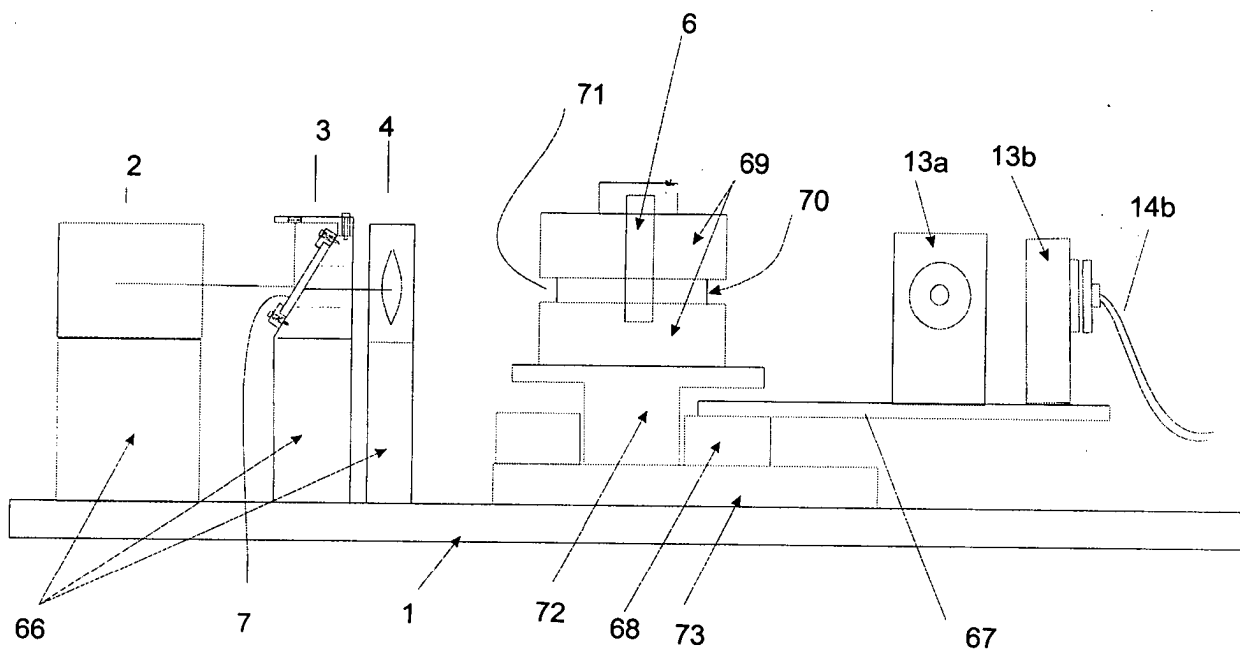


Fig. 13

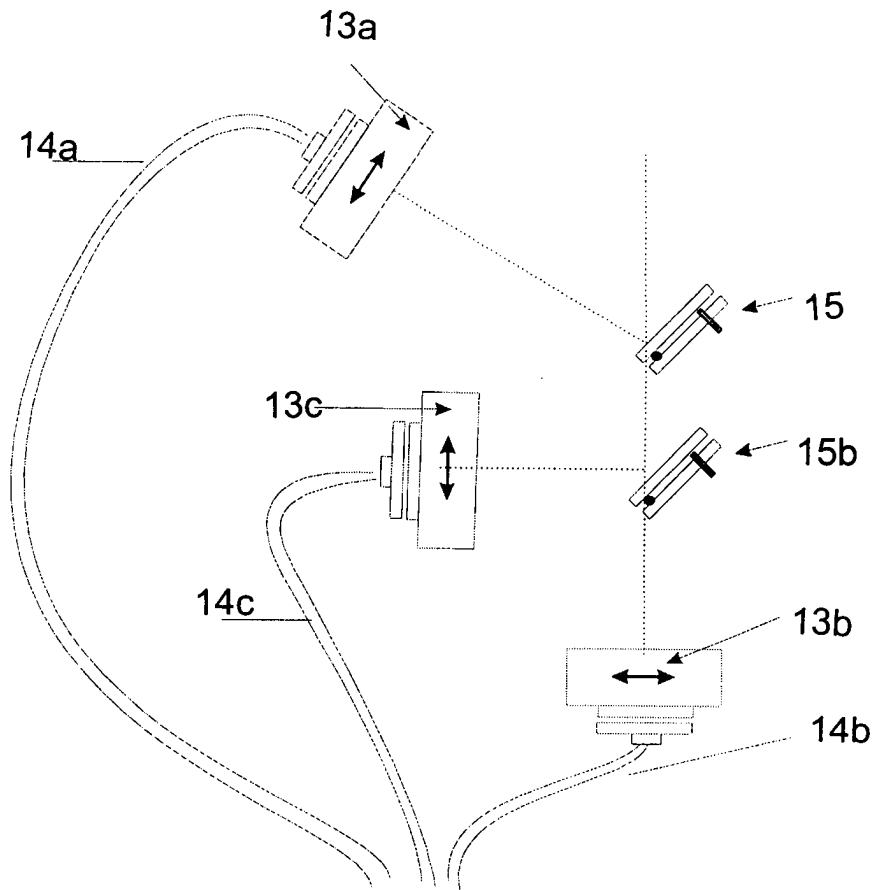


Fig. 14

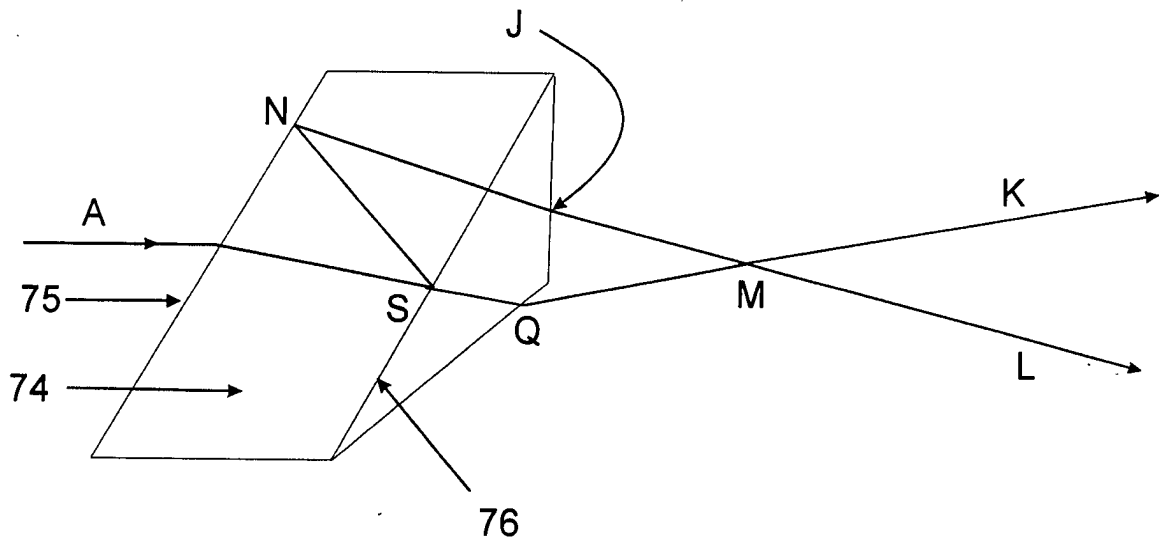


Fig. 15

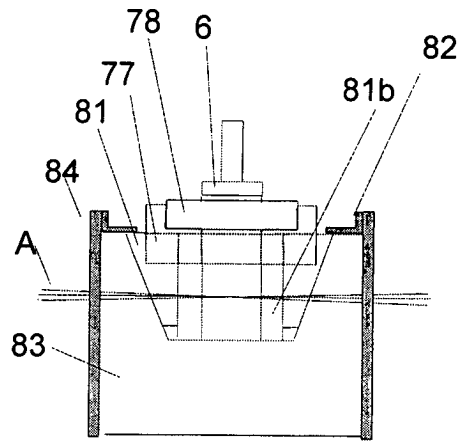


Fig. 16

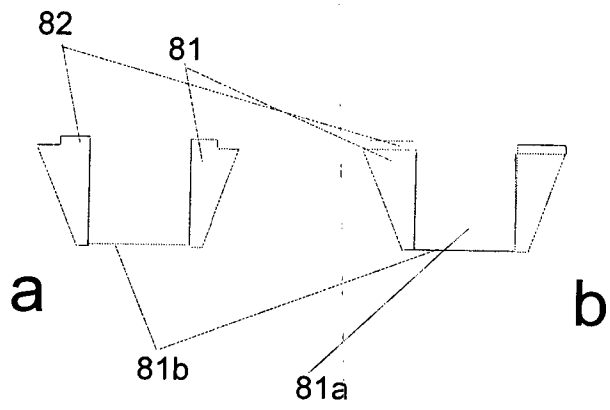


Fig. 17

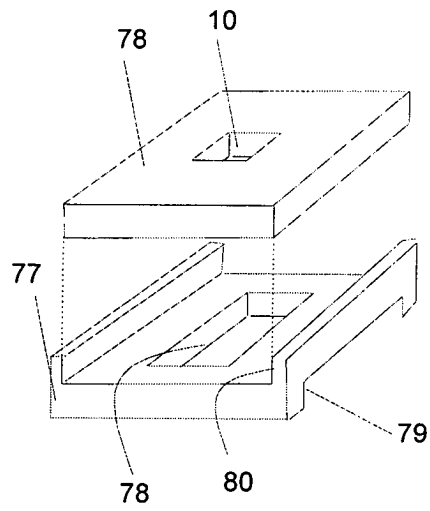


Fig. 18

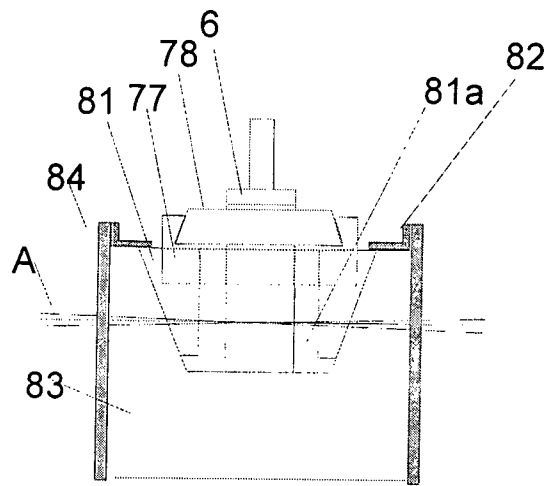


Fig. 19

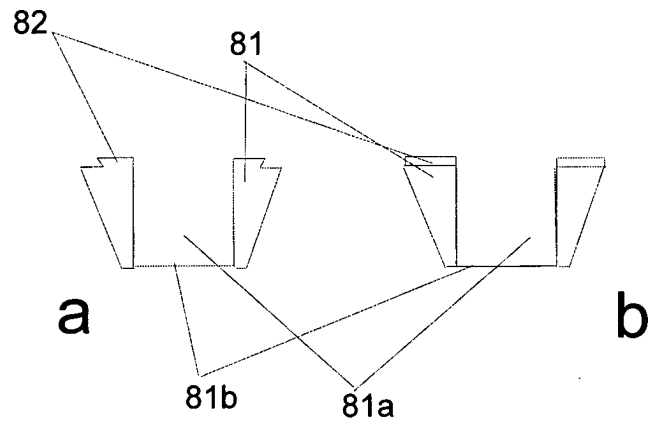


Fig. 20

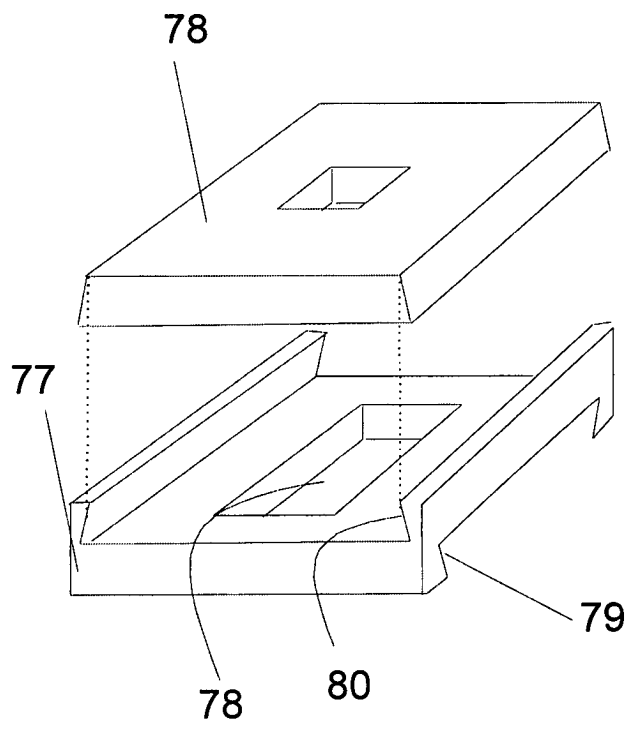


Fig. 21

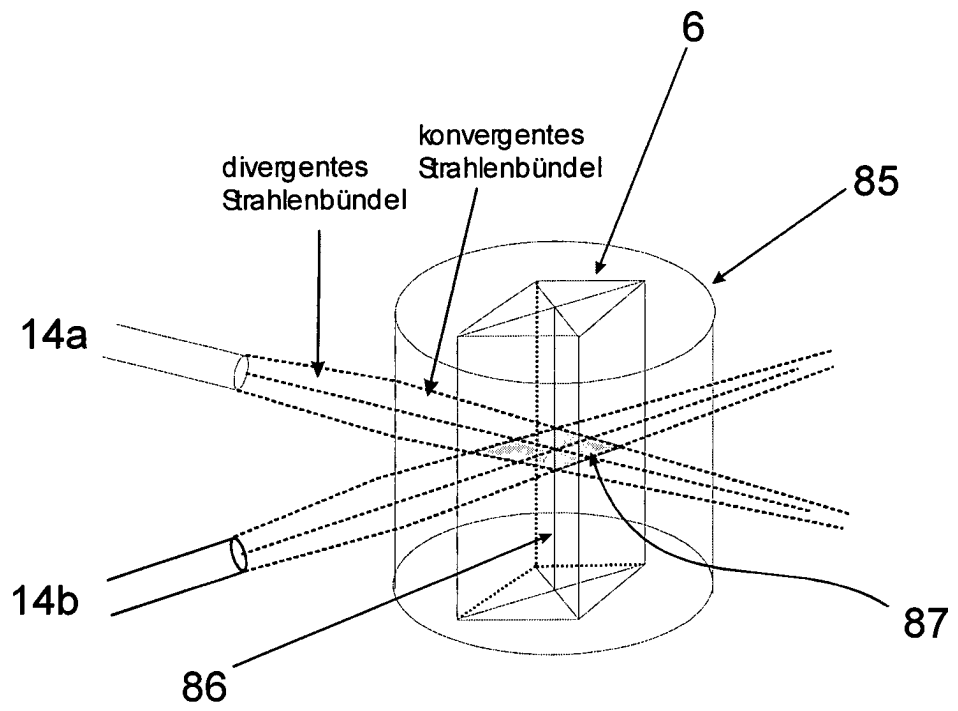


Fig. 22

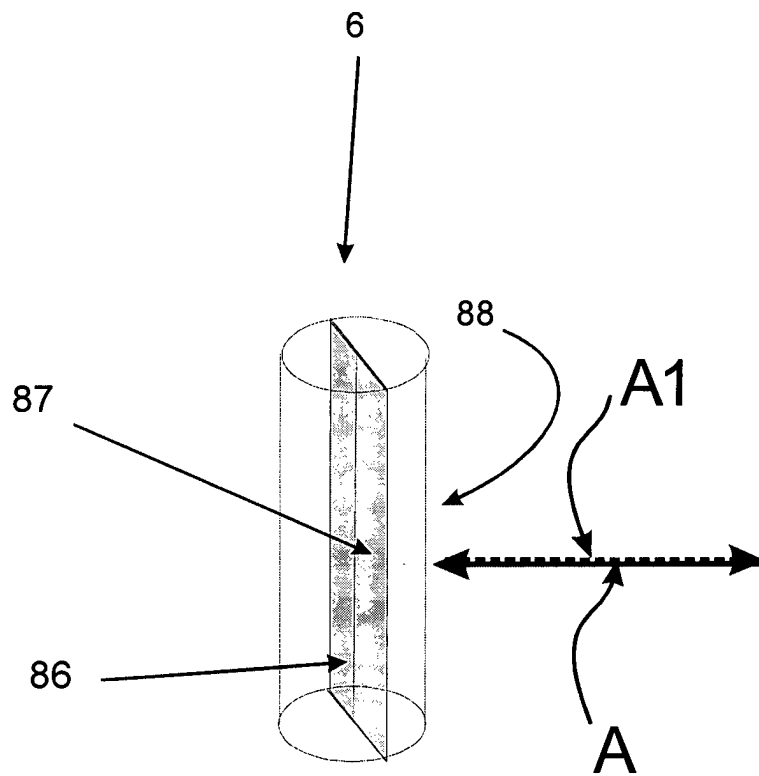


Fig. 23

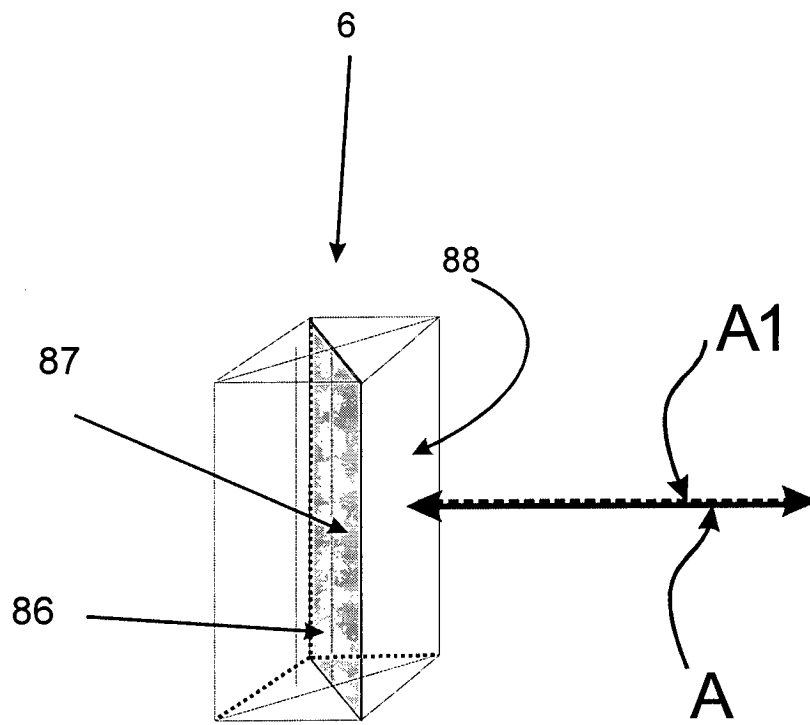


Fig. 24