



(10) **DE 10 2016 102 431 B3** 2017.05.11

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2016 102 431.7**
(22) Anmeldetag: **11.02.2016**
(43) Offenlegungstag: –
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **11.05.2017**

(51) Int Cl.: **G01N 21/03 (2006.01)**
G01N 21/31 (2006.01)
G01N 21/59 (2006.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
**Bundesrepublik Deutschland, vertr. durch das
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie,
dieses vertreten durch den Präsidenten der
Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, 38116
Braunschweig, DE**

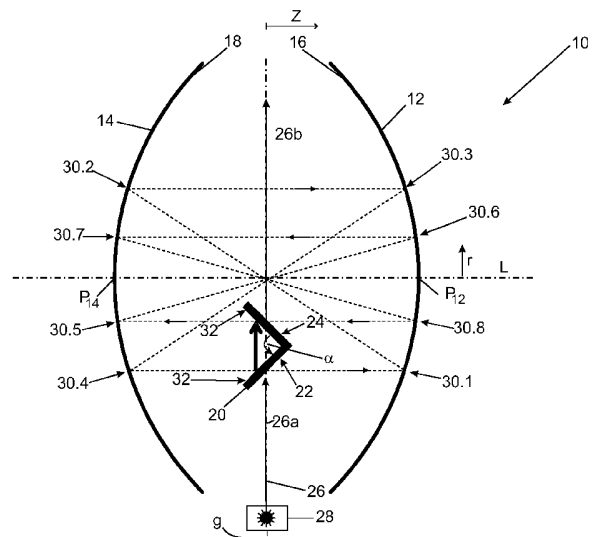
(74) Vertreter:
**Gramm, Lins & Partner Patent- und
Rechtsanwälte PartGmbB, 38122 Braunschweig,
DE**

(72) Erfinder:
**Rubin, Tom, 12163 Berlin, DE; Putzke, Stephan,
Dr., 12205 Berlin, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:
US 6 486 474 B1
US 2011 / 0 164 251 A1

(54) Bezeichnung: **Langwegzelle**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Langwegzelle (10), insbesondere Herriott-Zelle, mit einem ersten Spiegel (12), einem zweiten Spiegel (14), der dem ersten Spiegel (12) eine konkave Spiegelfläche (18) zuwendet, und einem Einkoppelement (20), das eine Einkoppelfläche (22) zum Einkoppeln eines Lichtstrahls (26) und eine Auskoppelfläche (24) zum Auskoppeln des Lichtstrahls (26) aufweist. Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass die Auskoppelfläche (24) unter einem Versatzwinkel (α) von zumindest 30° zur Einkoppelfläche (22) verläuft.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Langwegzelle, insbesondere eine Herriott-Zelle, mit den Merkmalen des Anspruchs.

[0002] Eine Langwegzelle nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 ist aus der US 6 486 474 B1 bekannt und wird beispielsweise in der Spektroskopie verwendet, um einen Lichtstrahl auf einem möglichst langen Weg durch ein Probenvolumen zu schicken, sodass die Wechselwirkung zwischen dem Lichtstrahl und dem Material im Probenraum besonders intensiv ist. Es ist wünschenswert, wenn die Langwegzelle besonders einfach in den Strahlengang beispielsweise eines Lasers eingesetzt werden kann.

[0003] Aus der US 2011/0164251 A1 ist eine Langwegzelle bekannt, bei der die Lichtquelle innerhalb des Probenvolumens angeordnet ist. Nachteilig an einem solchen System ist, dass es schlecht in bestehende Systeme eingebaut werden kann.

[0004] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Langwegzelle vorzuschlagen, die einen längeren Lichtpfad im Probenvolumen erlaubt.

[0005] Die Erfindung löst das Problem durch eine gattungsgemäße Langwegzelle, bei der die Auskoppelflächen unter einem Versatzwinkel von zumindest 30° zur Einkoppelfläche verlaufen.

[0006] Vorteilhaft an dieser Langwegzelle ist, dass sie so hergestellt werden kann, dass es zu keinem Strahlversatz zwischen dem Einfall des Strahls und dem ausfallenden Strahl kommt. Wird eine derartige Langwegzelle beispielsweise in eine Spektroskopievorrichtung eingesetzt, die einen Laser und einen Detektor, insbesondere ein Spektrometer, aufweist, so ist es ausreichend, die erfindungsgemäße Langwegzelle in den Strahlengang einzusetzen, ohne dass die Justage der Spektroskopievorrichtung relativ zum Laser gestört wird. Eine derartige Spektroskopievorrichtung ist ein Gegenstand der vorliegenden Erfindung.

[0007] Im Rahmen der vorliegenden Beschreibung wird unter einem Spiegel eine Vorrichtung verstanden, die zumindest bezüglich einer Wellenlänge einen Reflexionsgrad von zumindest 0,95, insbesondere 0,98, aufweist.

[0008] Unter dem Einkoppelement wird ein Element verstanden, das so relativ zu den Spiegeln angeordnet ist, dass ein auf das Einkoppelement unter einem geeigneten Winkel auftreffender Lichtstrahl auf einen der Spiegel reflektiert wird, sodass der Lichtstrahl von diesem Spiegel auf den anderen Spiegel reflektiert wird. Das Einkoppelement ist zudem so ausgebildet und angeordnet, dass dieser Lichtstrahl nach mehreren Reflexionen auf die Auskoppel-

fläche fällt und von dort aus die Langwegzelle verlässt. Das Einkoppelement könnte daher auch Ein- und Auskoppelement genannt werden.

[0009] Das Einkoppelement ist vorzugsweise zwischen den Spiegeln eingeordnet. Darunter wird insbesondere verstanden, dass das Einkoppelement in dem Raum aller Punkte angeordnet ist, die auf Strecken zwischen dem ersten Spiegel und dem zweiten Spiegel liegen.

[0010] Vorzugsweise ist der zweite Spiegel ein sphärischer oder parabolischer Spiegel. Diese Spiegel bewirken eine Fokussierung und Selbst-Zentrierung des Lichtstrahls, sodass einer Aufweitung des Lichtstrahls entgegengewirkt wird.

[0011] Vorzugsweise wendet auch der erste Spiegel dem zweiten Spiegel eine konkave Spiegelfläche zu. In diesem Fall ist der erste Spiegel vorzugsweise auch ein sphärischer und/oder parabolischer Spiegel.

[0012] Vorzugsweise ist das Einkoppelement so ausgebildet, dass ein von der Auskoppelfläche ausgekoppelter Lichtstrahl in Verlängerung eines mittels der Einkoppelfläche eingekoppelten Lichtstrahls verläuft. Hierunter ist insbesondere zu verstehen, dass ein Abstand zwischen einer ersten Geraden, entlang derer sich der eingekoppelte Lichtstrahl erstreckt, und einer zweiten Geraden, entlang derer sich der ausgekoppelte Lichtstrahl erstreckt, höchstens $750\ \mu\text{m}$, insbesondere höchstens $500\ \mu\text{m}$, beträgt.

[0013] Vorzugsweise weist das Einkoppelement, das auch als Einkoppel- und Umlenkelement bezeichnet werden könnte, eine Beschichtung auf. Günstig ist es, wenn der Abstand der beiden Geraden vorzugsweise höchstens das 1,4-fache der Dicke des Einkoppelements beträgt.

[0014] Alternativ oder zusätzlich ist der Winkelfehler zwischen der ersten Geraden und der zweiten Geraden kleiner als $0,5^\circ$.

[0015] Eine derartige Langwegzelle lässt sich, wie oben bereits beschrieben, besonders einfach in den Strahlengang einer Vorrichtung, beispielsweise einer Spektroskopievorrichtung, einsetzen.

[0016] Erfindungsgemäß besitzt das Einkoppelement eine erste Reflexionsfläche, die so angeordnet ist, dass ein von der Einkoppelfläche eingekoppelter Lichtstrahl zunächst von zumindest einem Spiegel reflektiert wird, insbesondere mehrfach von den Spiegeln hin- und zurückreflektiert wird, danach auf die erste Reflexionsfläche trifft und im Strahlengang nach der Reflexionsfläche auf einen der Spiegel trifft. In anderen Worten trifft der Lichtstrahl zunächst auf die Einkoppelfläche und wird von dort auf einen der Spiegel reflektiert. Von diesem Spiegel wird er auf

den anderen Spiegel reflektiert. Es ist möglich, nicht aber notwendig, dass der Lichtstrahl dann mehrfach zwischen den beiden Spiegeln hin und her reflektiert wird. Danach trifft der Lichtstrahl auf die Reflexionsfläche und wird von dort erneut auf einen der Spiegel reflektiert. Mittels eines solchen Einkoppelements kann der Lichtstrahl auf eine andere Spur gesetzt werden. In anderen Worten liegen mehrere Auftreffpunkte des Lichtstrahls vor dem Auftreffen auf dem Einkoppelement entlang einer ersten Ellipse, insbesondere eines ersten Kreises, und nach dem Auftreffen auf dem Einkoppelement entlang einer zweiten Ellipse, insbesondere eines zweiten Kreises.

[0017] Dabei ist es günstig, wenn ein radialer Abstand eines Auftreffpunkts des Lichtstrahls, der von der Reflexionsfläche auf einen der Spiegel reflektiert wurde, signifikant kleiner oder größer ist als der radiale Abstand der Auftreffpunkte des Lichtstrahls vor Reflexion an der ersten Reflexionsfläche. In anderen Worten ist es günstig, wenn die radialen Abstände der Auftreffpunkte des Lichtstrahls vor Auftreffen auf die erste Reflexionsfläche im Wesentlichen gleich bleiben und die Reflexion an der Reflexionsfläche dazu führt, dass der radiale Abstand der Auftreffpunkte des Lichtstrahls nach Reflexion an der ersten Reflexionsfläche deutlich kleiner oder deutlich größer ist. Es ist beispielsweise günstig, wenn der radiale Abstand nach Reflexion an der ersten Reflexionsfläche sich um einen Radialversatz von dem Radialabstand des Auftreffpunkts des Lichtstrahls unmittelbar vor Auftreffen auf die erste Reflexionsfläche unterscheidet, wobei der Radialversatz größer ist als das Doppelte der Varianz der radialen Abstände der Auftreffpunkte des Lichtstrahls vor Auftreffen auf die Reflexionsfläche.

[0018] Der radiale Abstand ist der Abstand zu einer optischen Längsachse der Langwegzelle. Wird der Lichtstrahl – was eine bevorzugte Ausführungsform darstellt – zumindest drei Mal zu dem ersten und dem zweiten Spiegel hin- und zurückreflektiert, so liegen die Auftreffpunkte vorzugsweise auf Ellipsen, insbesondere Kreisen, um den Nullpunkt der Radialachse.

[0019] Ein Vorteil an einer derartigen Langwegzelle ist, dass der Lichtstrahl eine besonders lange Weglänge in der Langwegzelle zurücklegen muss. Die Abstände der Auftreffpunkte in Umfangsrichtung hängen bei gegebenem Spiegelabstand von der Krümmung des jeweiligen Spiegels ab. Das führt dazu, dass bei Spiegeln mit konstanter Krümmung der Abstand in Umfangsrichtung von benachbarten Auftreffpunkten umso größer wird, je größer der radiale Abstand der Auftreffpunkte ist. Um die zur Verfügung stehende Spiegelfläche optimal auszunutzen, sollten die Auftreffpunkte möglichst dicht beieinander liegen.

[0020] Es ist gemäß einer bevorzugten Ausführungsform daher vorgesehen, dass die Krümmung

zumindest eines Spiegels, insbesondere aller Spiegel, sich nach radial außen verändert, insbesondere vergrößert. Nach Reflexion durch das Einkoppelement verlaufen die Auftreffpunkte dann auf beiden Spiegeln auf einer Ellipse, insbesondere einem Kreis. Die Auftreffpunkte des Lichtstrahls nach Auftreffen auf die erste Reflexionsfläche liegen auf einer zweiten Ellipse, insbesondere einem zweiten Kreis, der einen kleineren oder größeren Durchmesser hat, wobei sich die Abstände der Auftreffpunkte in Umfangsrichtung auf beiden Ellipsen vorzugsweise nicht oder nicht signifikant unterscheiden.

[0021] Vorzugsweise umfasst das Einkoppelement eine zweite Reflexionsfläche, die so relativ zu Einkoppefläche angeordnet ist, dass ein von der Einkoppefläche eingekoppelter Lichtstrahl zunächst mehrfach von den Spiegeln hin- und zurückreflektiert wird, danach auf die erste Reflexionsfläche trifft, danach mehrfach von den Spiegeln hin- und zurückreflektiert wird, danach auf die zweite Reflexionsfläche trifft und nachfolgend erneut mehrfach von den Spiegeln hin- und zurückreflektiert wird.

[0022] Vorzugsweise liegen die Auftreffpunkte des Lichtstrahls in seinem Abschnitt zwischen der ersten Reflexionsfläche und der zweiten Reflexionsfläche auf einer ersten Ellipse, insbesondere einem ersten Kreis. Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform besitzt das Einkoppelement eine dritte Reflexionsfläche, wobei die Auftreffpunkte des Lichtstrahls in seinem Abschnitt zwischen der zweiten Reflexionsfläche und der dritten Reflexionsfläche auf einer ersten Ellipse, insbesondere einem zweiten Kreis, die zur ersten Ellipse, insbesondere zum ersten Kreis, zumindest im Wesentlichen konzentrisch ist, liegen. Unter dem Merkmal, dass die zweite Ellipse, insbesondere der zweite Kreis, zur ersten Ellipse, insbesondere zum ersten Kreis, zumindest im Wesentlichen konzentrisch ist, wird insbesondere verstanden, dass die Brennpunkte der Ausgleichsellipsen durch die jeweiligen Auftreffpunkte um höchstens das Doppelte einer Halbwertsbreite des Lichtstrahls voneinander entfernt liegen. Im Falle eines Kreises unterscheiden sich die Mittelpunkte der Ausgleichskreise durch die jeweiligen Auftreffpunkte um höchstens das Doppelte einer Halbwertsbreite des Lichtstrahls.

[0023] Vorzugsweise hat die zweite Ellipse eine zweite Summe aus großer und kleiner Halbachse, die sich von der ersten Summe aus großer und kleiner Halbachse der ersten Ellipse um zumindest eine Halbwertsbreite des Lichtstrahls unterscheidet. Insbesondere hat vorzugsweise der zweite Kreis einen Kreisdurchmesser, der sich vom ersten Kreisdurchmesser um zumindest das Doppelte einer Halbwertsbreite des Lichtstrahls unterscheidet.

[0024] Vorzugsweise besitzt die erste Reflexionsfläche eine erste Teil-Fläche und eine zweite Teil-Flä-

che, wobei ein Öffnungswinkel zwischen den beiden Teil-Flächen zumindest 45° , insbesondere zumindest 60° , beträgt und/oder höchstens 135° , insbesondere 120° . Günstig ist es, wenn der Öffnungswinkel sich um zumindest 10 Winkelsekunden von 90° unterscheidet.

[0025] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform umfasst die Langwegzelle ein Halteelement, wobei der erste Spiegel und der zweite Spiegel zentral am Halteelement befestigt sind. Unter dem Merkmal, dass die Spiegel zentral am Halteelement befestigt sind, wird verstanden, dass jeder Spiegel einen Zentralbereich hat, der radial innen liegt und der mit dem Spiegel verbunden ist. In anderen Worten verlaufen die Lichtstrahlen radial außerhalb vom Halteelement. Günstig ist es, wenn eine Längsachse der Langwegzellen durch das Halteelement verläuft. Das Halteelement ermöglicht die Ausrichtung der Spiegel zueinander. So kann zumindest ein Spiegel arretierbar längsbeweglich am Halteelement befestigt sein, so dass der Spiegel zunächst relativ zum Halteelement verschoben und danach arretiert werden kann. Alternativ oder zusätzlich umfasst das Halteelement zudem vorzugsweise eine Winkellageneinstellvorrichtung, mittels der die Winkellage, unter der zumindest einer der Spiegel relativ zum Halteelement befestigt ist, einstellbar ist.

[0026] Erfindungsgemäß ist zudem eine Spektroskopievorrichtung mit einer Langwegzelle, wie sie oben beschrieben ist.

[0027] Im Folgenden wird die Erfindung anhand der beigefügten Zeichnungen näher erläutert. Dabei zeigt:

[0028] Fig. 1 eine erfindungsgemäße Langwegzelle gemäß einer ersten Ausführungsform der Erfindung,

[0029] Fig. 2a eine schematische Ansicht einer Langwegzelle gemäß einer zweiten Ausführungsform der Erfindung,

[0030] Fig. 2b einen Ausschnitt mit dem Einkoppel-element aus der Langwegzelle nach Fig. 2a,

[0031] Fig. 3 einen schematischen Querschnitt durch eine Langwegzelle gemäß einer dritten Ausführungsform der Erfindung und

[0032] Fig. 4 zeigt eine vierte Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Langwegzelle.

[0033] Fig. 1 zeigt eine erfindungsgemäße Langwegzelle **10** in Form einer Herriott-Zelle, die einen ersten Spiegel **12** und einen zweiten Spiegel **14** aufweist. Der erste Spiegel **12** besitzt eine erste konkave Spiegelfläche **16**, der zweite Spiegel **14** besitzt eine zweite Spiegelfläche **18**, die dem ersten Spiegel

12 zugewandt ist. Der erste Spiegel **12** ist im vorliegenden Fall sphärisch und hat einen ersten Krümmungsradius R_{12} , der einem zweiten Krümmungsradius R_{14} des zweiten Spiegels entspricht. Es ist aber auch möglich, dass einer oder beide Spiegel Parabolspiegel sind.

[0034] Die Langwegzelle **10** umfasst ein Einkoppel-element **20**, das eine Einkoppelfläche **22** und eine Auskoppelfläche **24** besitzt. Fällt ein Lichtstrahl **26**, insbesondere ein Laserstrahl, der von einem Laser **28** ausgesandt wird, auf die Einkoppelfläche **22**, so reflektiert diese den Lichtstrahl **26** auf den ersten Spiegel **12**. Der Lichtstrahl **26** trifft daher zunächst in einem ersten Auftreffpunkt **30.1** auf den ersten Spiegel **12** auf. Danach reflektiert der erste Spiegel **12** den Lichtstrahl **26** auf einen zweiten Auftreffpunkt **30.2** auf dem zweiten Spiegel **14**, danach trifft der Lichtstrahl **26** auf einen dritten Auftreffpunkt **30.3** und einen vierten Auftreffpunkt **30.4**.

[0035] Der Lichtstrahl **26** ist in anderen Worten mehrfach von den Spiegeln **12**, **14** hinund zurückreflektiert worden. Danach trifft der Lichtstrahl **26** auf eine erste Reflexionsfläche **32**, die den Lichtstrahl **26** auf einen fünften Auftreffpunkt **30.5** auf der zweiten Spiegelfläche **18** leitet. Im vorliegenden Fall erstreckt sich die erste Reflexionsfläche **32** entlang zweier Ebenen, die einen Winkel miteinander bilden, der kein rechter Winkel ist. Im schematisch gezeigten zweidimensionalen Fall würde sich ein rechter Winkel ergeben, der aber im dreidimensionalen Fall nicht vorliegt.

[0036] Nachdem der Laserstrahl die Auftreffpunkte **30.6**, **30.7** und **30.8** durchlaufen hat, trifft er auf die Auskoppelfläche **24**. In Fig. 1 ist eine Seitenansicht gezeigt, sodass der Lichtstrahl zwischen den Punkten **30.4** und **30.5** einerseits und hinter dem Punkt **30.8** andererseits quasi parallel verlaufend eingezeichnet ist. Der entstehende ausfallende Lichtstrahl **26b**, der Teil des Lichtstrahls **26** ist, verläuft in die direkte Verlängerung des einfallenden Lichtstrahls **26a**. In anderen Worten existiert eine Gerade g , entlang derer sich sowohl der einfallende Lichtstrahl **26a** als auch der ausfallende Lichtstrahl **26b** erstrecken.

[0037] Es ist zu erkennen, dass die Auskoppelfläche **24** unter einem Versatzwinkel α zur Einkoppelfläche **22** orientiert ist. Im vorliegenden Fall beträgt $\alpha = 90^\circ$, was ausschließlich für den zweidimensionalen Fall eine bevorzugte Ausführungsform darstellt. Für den in der Praxis vorkommenden dreidimensionalen Fall muss sich α von 90° unterscheiden, damit eine gute Justierung ermöglicht wird, welche sich durch Rotationssymmetrie, bzw. durch die kreisförmige Anordnung der Auftreffpunkte auf den Spiegeln auszeichnet. Für je einen Satz Eingangsparameter: „Krümmungsradien(Brennweiten) der Spiegel, Spiegelabstand, Position des Einkoppelementes, Radius des

aktuellen (vor dem Umlenken auf die nächste Bahn bestehenden) kreisförmigen Musters der Reflexe auf den Spiegeln, Radius des nächsten (auf der neuen Bahn entstehenden) kreisförmigen Musters der Reflexe auf den Spiegeln“ gibt es genau zwei mögliche Winkel für α , deren Größe erfindungsgemäß mittels einer Simulation unter Verwendung von Raytracing bestimmt wird.

[0038] Die Langwegzelle **10** besitzt eine Längsachse L. Im vorliegenden Fall verläuft die Längsachse durch die beiden Punkte P_{12} , P_{14} , die sich dadurch auszeichnen, dass ein gedachter Lichtstrahl zwischen diesen beiden Punkten beständig hin- und her reflektiert würde. In einer Schnittansicht wie in **Fig. 1** ist die Längsachse eine Drehsymmetrieachse für den ersten Spiegel **12**. Zudem können die Spiegeloberflächen **16**, **18** in einem Kreiskoordinatensystem um die Längsachse L als konstant in einer Abstandskoordinate r dargestellt werden. Die Abstandskoordinate r bezeichnet den Abstand von der Längsachse L. Die z-Achse verläuft entlang der Längsachse L. Die Stelle $z = 0$ kann grundsätzlich beliebig gewählt werden.

[0039] Es sei darauf hingewiesen, dass **Fig. 1** lediglich eine schematische Seitenansicht der Langwegzelle **10** zeigt. Aus diesem Grund sind auch die eingezeichneten Winkel verzerrt dargestellt. Es ist möglich, dass die beiden Spiegel zwischen sich einen größeren Abstand voneinander haben.

[0040] **Fig. 2a** zeigt eine zweite Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Langwegzelle **10**, deren Einkoppelement **20** eine zweite Reflexionsfläche **34** aufweist, auf die der Lichtstrahl **26** auftrifft, nachdem er im Auftreffpunkt **30.8** reflektiert wurde. Die zweite Reflexionsfläche **34** reflektiert den Lichtstrahl **26** auf den Auftreffpunkt **30.9**. Das Einkoppelement **20** besitzt zudem eine dritte Reflexionsfläche **36**, eine vierte Reflexionsfläche **38** und eine fünfte Reflexionsfläche **40**. Wie durch den eingezeichneten Weg des Lichtstrahls **26** zu erkennen ist, legt dieser in der Langwegzelle **10** einen besonders langen Weg zurück.

[0041] **Fig. 2a** zeigt, dass die Langwegzelle **10** eine Lichtleitfaser **56** aufweisen kann, bei der der Lichtstrahl **26** vom Laser **28** auf das Einkoppelement **20** zugeführt wird. Günstig ist es, wenn die Lichtleitfaser **56** in einem Auskoppelement **58** endet.

[0042] **Fig. 2b** zeigt das Einkoppelement **20** in einer Vergrößerung. Es ist zu erkennen, dass die erste Reflexionsfläche **32** eine erste Teil-Fläche **32.1** und eine zweite Teil-Fläche **32.2** aufweist, die mit der ersten Fläche **32.1** einen Öffnungswinkel β einschließt. Der Öffnungswinkel β ist der Winkel zwischen den beiden Tangentialebenen an die Flächen **32.1**, **32.2**

jeweils in dem Punkt, in dem der Lichtstrahl **26** auftrifft.

[0043] Der Öffnungswinkel β zwischen den beiden Teil-Flächen **32.1**, **32.2** beträgt vorzugsweise zumindest 45° , insbesondere zumindest 60° , und/oder höchstens 135° , insbesondere 120° . Es hat sich als vorteilhaft erwiesen, wenn der Öffnungswinkel β keinen Wert zwischen 89° , vorzugsweise $89,5^\circ$ einerseits und $90,5^\circ$, vorzugsweise 91° , andererseits einnimmt.

[0044] Für die Teil-Flächen existieren immer genau zwei mögliche Orientierungen zueinander, bei denen der Querschnitt des Musters der Lichtstrahl-Reflexionen möglichst kreisförmig ist. Vorzugsweise wird diese Orientierung mittels Raytracing bestimmt.

[0045] **Fig. 3** zeigt eine weitere Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Langwegzelle **10**, bei der die Spiegel **12**, **14** wie in **Fig. 3** gezeigt aufgebaut sind. Die Langwegzelle **10** umfasst ein Halteelement **46**, an dem die beiden Spiegel **12**, **14** zentral befestigt sind. Es ist zu erkennen, dass der Lichtstrahl **26** durch eine Öffnung **48** im Spiegel **12** in die Langwegzelle **10** eintritt und durch die gleiche Öffnung **48** wieder austritt.

[0046] Erfindungsgemäß ist zudem eine Spektroskopievorrichtung **50**, die den Laser **28**, die Langwegzelle **10** und eine Lichtstrahl-Analysevorrichtung **52** aufweist.

[0047] **Fig. 4** zeigt eine weitere Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Langwegzelle **10** mit einem Reflexionselement **54**, an dem die Reflexionsflächen **32** und **34** ausgebildet sind. Bei den Ausführungsformen gemäß der **Fig. 1** und **Fig. 2** ist das Reflexionselement Teil des Einkoppelements **20** (vgl. **Fig. 1**).

[0048] Der Übersichtlichkeit halber ist in **Fig. 4** der Strahlweg nach Reflexion an der ersten Reflexionsfläche **32** und der zweiten Reflexionsfläche **34** nur schematisch eingezeichnet.

Bezugszeichenliste

10	Langwegzelle
12	erster Spiegel
14	zweiter Spiegel
16	erste Spiegelfläche
18	zweite Spiegelfläche
20	Einkoppelement
22	Einkoppelfläche
24	Auskoppelfläche
26	Lichtstrahl
26a	einfallender Lichtstrahl
26b	ausfallender Lichtstrahl
28	Laser
30	Auftreffpunkt

32	erste Reflexionsfläche
32.1, 32.2	Teil-Fläche
34	zweite Reflexionsfläche
36	dritte Reflexionsfläche
38	vierte Reflexionsfläche
40	fünfte Reflexionsfläche
46	Halteelement
48	Öffnung
50	Spektroskopievorrichtung
52	Lichtstrahl-Analysevorrichtung
54	Reflexionselement
56	Lichtleitfaser
58	Auskoppelement
α	Versatzwinkel
β	Öffnungswinkel
a	Abstand
g	Gerade
L	Längsachse
r	Abstandskoordinate
R_{12}	Krümmungsradius
R_{14}	Krümmungsradius
$R_{42.1}$	Krümmungsradius

Patentansprüche

1. Langwegzelle (10), insbesondere Herriott-Zelle, mit

- (a) einem ersten Spiegel (12),
- (b) einem zweiten Spiegel (14), der dem ersten Spiegel (12) eine konkave Spiegelfläche (18) zuwendet, und
- (c) einem Einkoppelement (20), das
 - eine Einkoppefläche (22) zum Einkoppeln eines Lichtstrahls (26) und
 - eine Auskoppefläche (24) zum Auskoppeln des Lichtstrahls (26) aufweist,
- (d) wobei die Auskoppefläche (24) unter einem Versatzwinkel (α) von zumindest 30° zur Einkoppefläche (22) verläuft, **dadurch gekennzeichnet**, dass
- (e) das Einkoppelement (20) eine erste Reflexionsfläche (32) aufweist, die so angeordnet ist, dass ein von der Einkoppefläche (22) eingekoppelter Lichtstrahl (26)
 - zunächst von zumindest einem Spiegel (12) reflektiert wird,
 - danach auf die erste Reflexionsfläche (32) trifft und
 - im Strahlengang nach der ersten Reflexionsfläche (32) auf den ersten oder den zweiten Spiegel (12, 14) trifft.

2. Langwegzelle (10) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Einkoppelement (20) so ausgebildet ist, dass ein von der Auskoppefläche (24) ausgekoppelter Lichtstrahl (26b) in Verlängerung eines mittels der Einkoppefläche (22) eingekoppelten Lichtstrahls (26a) verläuft.

3. Langwegzelle (10) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Einkoppelement (20)

eine zweite Reflexionsfläche (34) aufweist, die so relativ zur Einkoppefläche (22) angeordnet ist, dass ein von der Einkoppefläche (22) eingekoppelter Lichtstrahl (26)

- mehrfach von den Spiegeln (12, 14) hin- und zurückreflektiert wird,
- danach auf die zweite Reflexionsfläche (34) trifft, und
- nachfolgend mehrfach von den Spiegeln (12, 14) hin- und zurückreflektiert wird.

4. Langwegzelle (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die erste Reflexionsfläche (32) eine erste Teil-Fläche (32.1) und eine zweite Teil-Fläche (32.2) aufweist, wobei ein Öffnungswinkel (β) zwischen den beiden Teil-Flächen (32.1, 32.2) zumindest 45° beträgt und/oder höchstens 135° beträgt.

5. Langwegzelle (10) nach einem der vorstehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch

- ein Halteelement (46),
- wobei der erste Spiegel (12) und der zweite Spiegel (14) zentral am Halteelement (46) befestigt sind.

6. Langwegzelle (10) nach einem der vorstehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch zumindest einen dritten, konkaven Spiegel, der so angeordnet ist, dass ein Lichtstrahl (26) alle Spiegel trifft, bevor er die Langwegzelle (10) verlässt.

7. Langwegzelle (10) nach einem der vorstehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch eine Lichtleitfaser (56), die angeordnet ist zum Leiten des Lichtstrahls (26) und die so angeordnet ist, dass der Lichtstrahl (26) in die Langwegzelle (10) über die Lichtleitfaser (56) einkoppelbar ist.

Es folgen 4 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

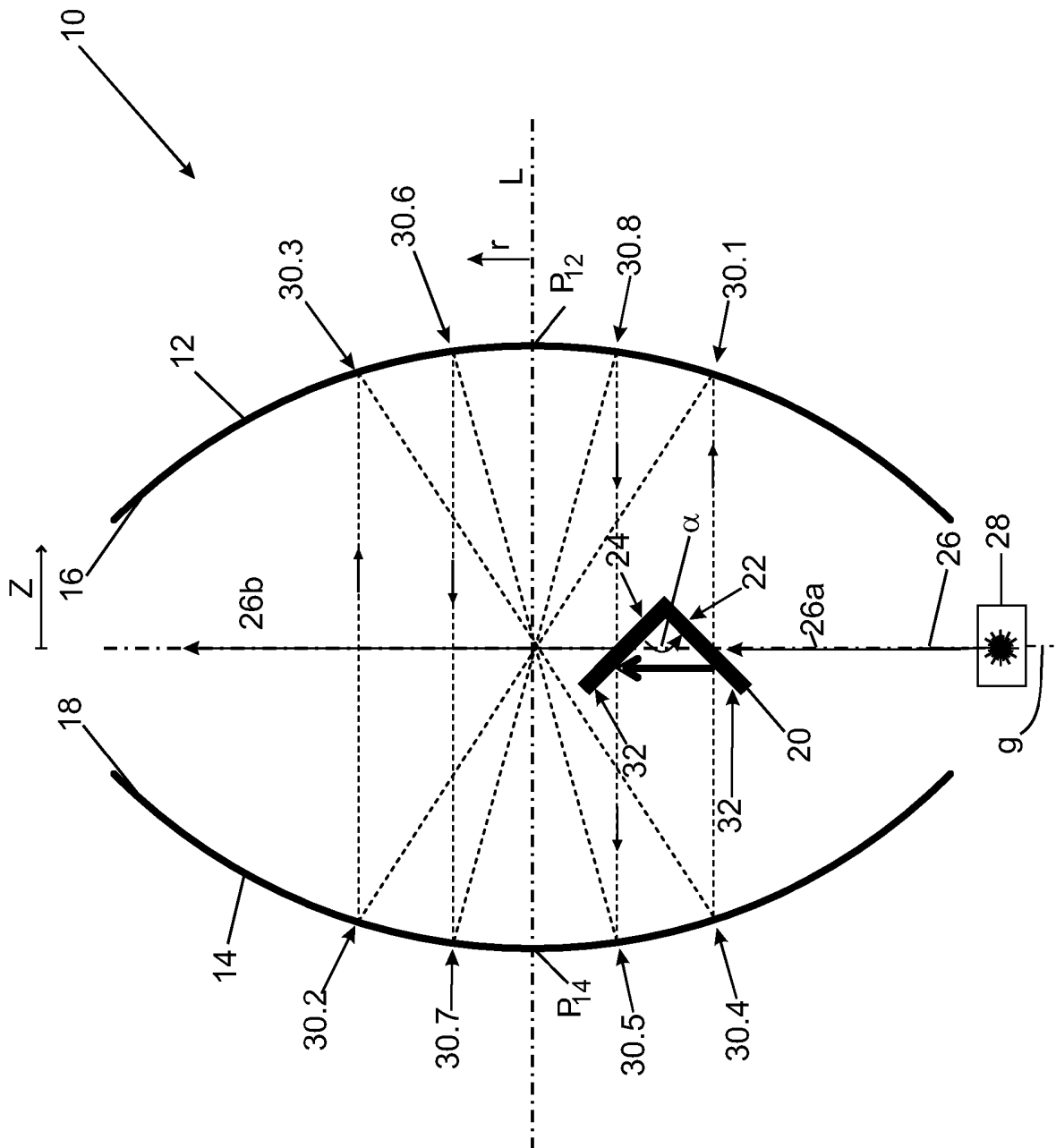


Fig. 1

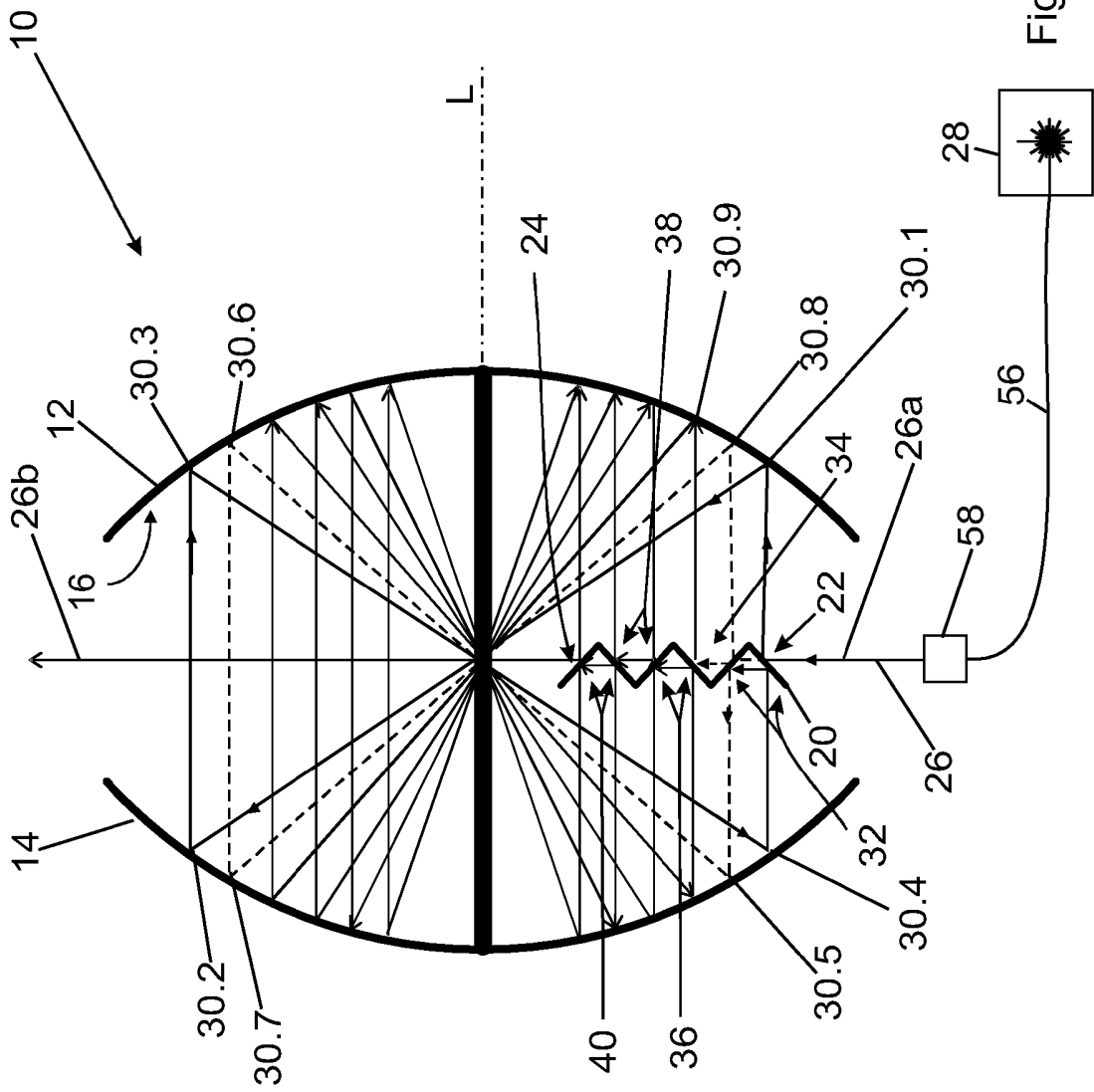


Fig. 2a

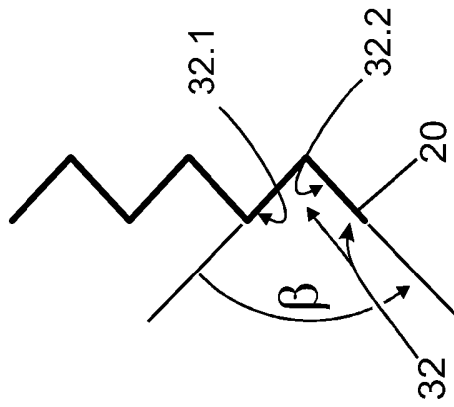


Fig. 2b

Fig. 2

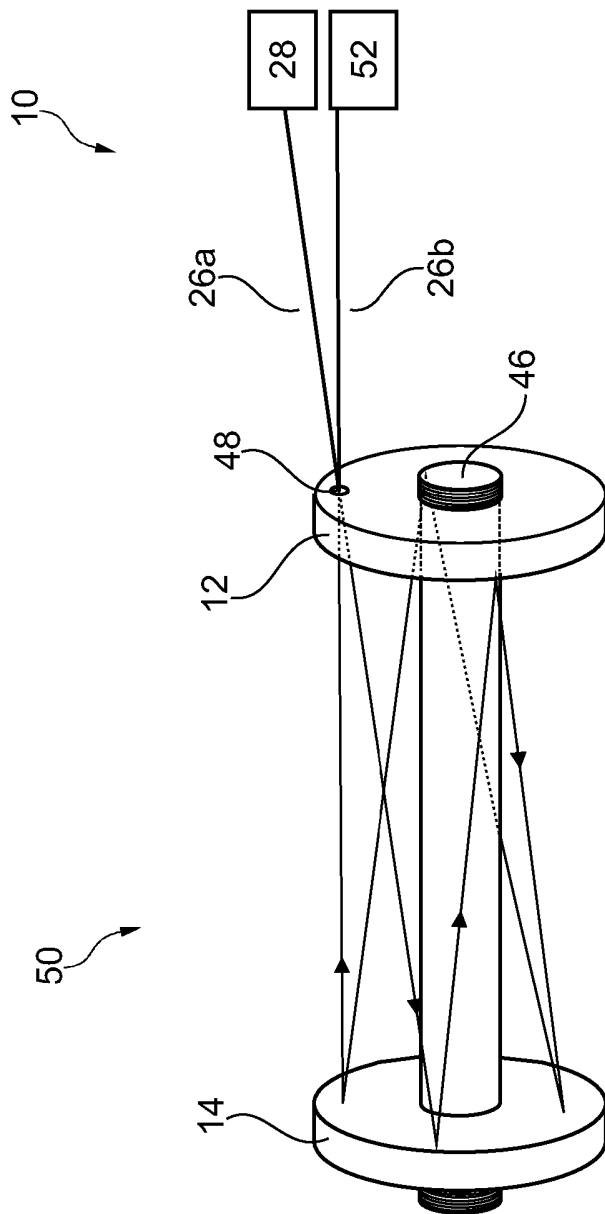


Fig. 3

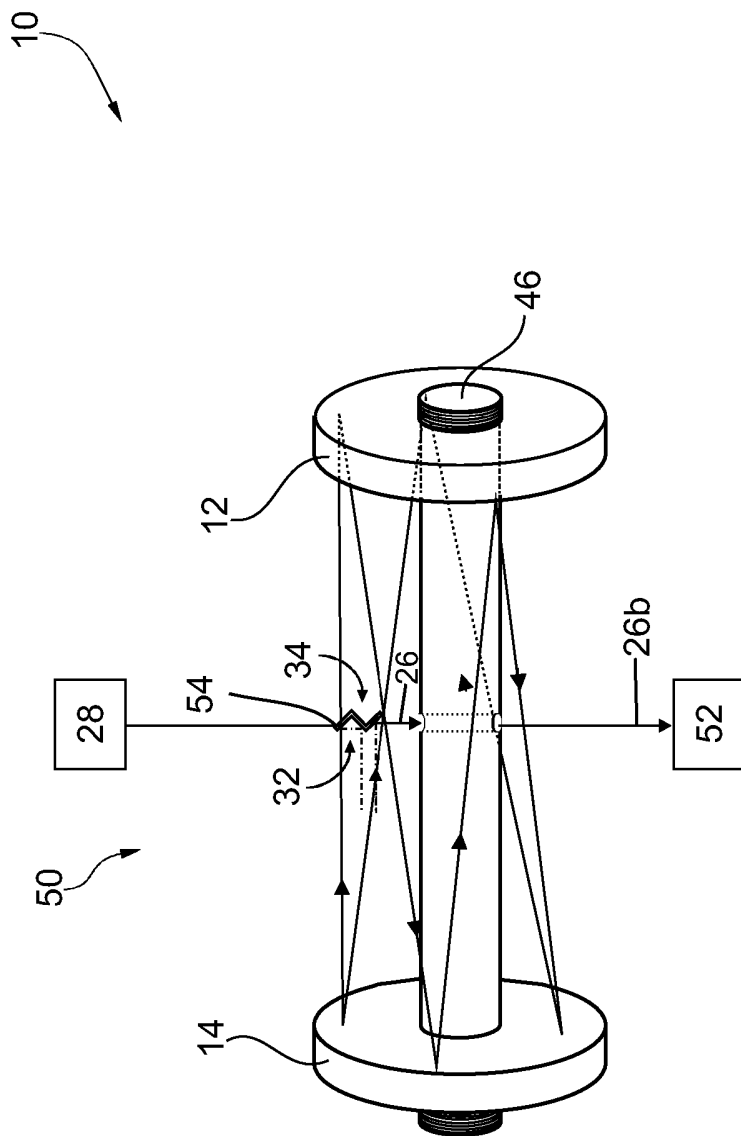


Fig. 4