



(10) **DE 10 2011 016 852 A1** 2012.10.11

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2011 016 852.4**

(22) Anmeldetag: **06.04.2011**

(43) Offenlegungstag: **11.10.2012**

(51) Int Cl.: **G02B 6/26 (2006.01)**

G02B 6/25 (2006.01)

G02B 6/32 (2006.01)

(71) Anmelder:

**Laser- und Medizin-Technologie GmbH, Berlin,
14195, Berlin, DE**

(72) Erfinder:

**Südmeyer, Heinrich, Dipl.-Phys., 34582, Borken,
DE; Schmitt, Franz-Josef, Dipl.-Phys., 10245,
Berlin, DE; Cappius, Hans-Joachim, Dipl.-Ing.,
10551, Berlin, DE; Eichler, Hans Joachim, Prof. Dr.
Ing., 12105, Berlin, DE; Zielinski, Norbert, 13439,
Berlin, DE**

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

DE	195 33 350	B4
US	6 625 378	B2
US	2002 / 0 196 558	A1
US	2007 / 0 179 485	A1
US	2007 / 0 229 754	A1
US	2007 / 0 263 975	A1
US	2007 / 0 292 090	A1
US	2008 / 0 304 791	A1
US	2010 / 0 277 721	A1
US	5 537 499	A
WO	2007/ 091 991	A2
WO	2008/ 076 399	A2

Rechercheantrag gemäß § 43 Abs. 1 Satz 1 PatG ist gestellt.

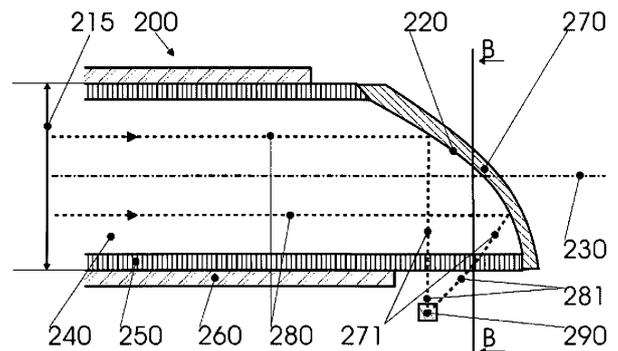
Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Der Inhalt dieser Schrift weicht von den am Anmeldetag eingereichten Unterlagen ab.

(54) Bezeichnung: **Seitlich gerichtet abstrahlende sowie konfokal detektierende Faseroptiken**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft Vorrichtungen zur gerichteten Applikation und Detektion von Licht in Hohlräumen oder Lumen. Um eine Lichtwellenleitfaser (200) mit integrierter Mikrooptik herzustellen, aus der Licht gerichtet und fokussiert seitlich ausgekoppelt und/oder eingekoppelt (290) wird, ohne die Lichtwellenleitfaser (215) zu verdicken, ist eines der Faserenden wie ein Hohlspiegel (220) ausgeformt und kann reflektierend beschichtet (270) sein. Ebenfalls erfindungsgemäß sind an einem oder beiden Enden der Lichtwellenleitfaser angebrachte Mikrooptiken mit veränderlichen Brennweiten. Adaptive Linsen und/oder Spiegel werden als veränderliche Elemente verwendet.

Die seitlich fokussiert abstrahlenden sowie konfokal detektierenden Faseroptiken eignen sich zur Inspektion von langen Lumen, wie z. B. medizinischen Kathetern, Gasversorgungsleitungen und Rohranlagen im Lebensmittelbereich (Milch, Getränke) auf organische, fluoreszierende Belegungen der Oberflächen.



Beschreibung

Aufgabenstellung

[0001] Es ist bekannt, dass Applikatoren zur Erfassung von Streulicht, Fluoreszenzemissionen oder zur Absorptionsspektroskopie in Reflexionsanordnung z. B. in der Messtechnik, Autoindustrie, medizinischen Anwendungen, Spektroskopie, Telekommunikation, usw. zur Anwendung kommen. Bei dem Versuch, Licht an schwer zugängliche Orten zu leiten oder große Strecken überwinden zu lassen, stellt das gerichtete und möglichst vollständige Ein- und Auskoppeln aus der Lichtwellenleitfaser eine große Herausforderung dar. Das breite Anwendungsfeld dieser Faseroptiken erfordert eine Vielzahl von speziellen Ausführungsformen, die teilweise mit baulich getrennten Optiken gekoppelt werden müssen. Der hier offengelegten Erfindung liegt das Problem zugrunde, dass Applikatoren mit Faserleitung zur Erfassung von Streulicht, Fluoreszenzemissionen oder Absorptionsspektroskopie in Reflexionsanordnung in Lumen oder Hohlräume eingeführt werden sollen. Hierbei beschränkt der Durchmesser der Vorrichtung den Durchmesser des zu untersuchenden Lumens oder Hohlraumes. Mit dem Einsatz von Mikrooptiken am distalen Ende der Lichtwellenleitfaser, die den Durchmesser der Lichtwellenleitfaser aufweisen, können sehr enge Lumina untersucht werden. Ein weiteres der hier offengelegten Erfindung zugrunde liegendes Problem ist, dass Lumen und langgestreckte Hohlräume in ihren Durchmessern variieren. Es ist deshalb Ziel dieser Erfindung den Durchmesser von Strahlformungselementen an Faserapplikatoren auf den Durchmesser der Lichtwellenleitfasern zu begrenzen, bzw. Faserapplikatoren mit einer veränderlichen Brennweite herzustellen, die in Lumen und Hohlräumen mit variierenden Durchmessern zum Einsatz kommen können.

Stand der Technik

[0002] Die dem Stand der Technik bekannten Lösungen zur seitlichen Auskopplung von Licht aus Lichtwellenleitfasern ohne zusätzliche Vorrichtung, die einen größeren Durchmesser als die Lichtwellenleitfaser aufweisen, sind auf ein unfokussiertes Auskoppeln beschränkt. Eine dem Stand der Technik bekannte Vorrichtung, bei der Licht seitlich aus Lichtwellenleitfasern ausgekoppelt wird, beschreibt das US Patent 5,537,499 mit dem Titel „Side-Firing Laser Optical Fiber Probe and Method of Making Same“. In der Patentschrift werden Anforderungen genannt, die sich hauptsächlich auf die unfokussierte seitliche Auskopplung beschränken, sowie der Minimierung von Lichtstreuung und Reflexionen. Diese Vorrichtungen sind nicht auf das Detektieren von Licht optimiert. Laut dem Laser Laboratorium Göttingen (<http://www.llg-ev.de/produkte-und-dienstleistungen/thematischer-index.html>, Stand 30.03.2011)

sind dem Stand der Technik bekannte Herstellungsverfahren die zur Ausformung der Lichtwellenleitfaser Laser verwenden, Laserablation oder Photoablation, wobei durch intensive Laserstrahlung ohne weitere Hilfsmittel Material abgetragen wird. Im Allgemeinen werden hierfür gepulste Laser verwendet. Unter Verwendung dieses Prozesses kann man die Ablation zur gezielten Mikro- und Nanostrukturierung von Materialoberflächen einsetzen. Nach dem Stand der Technik werden hierfür Excimerlaser aufgrund ihrer Strahleigenschaften zur Bearbeitung mittels Maskenprojektion eingesetzt. Es ist auch möglich Bearbeitungsmuster in Form einer Maske in den Strahl einzubringen; durch Abbildung der Maske wird diese Struktur als Abtragsmuster auf der Werkstückoberfläche reproduziert. So können einfache Lochraster gebohrt, mikrofluidische Kanäle gezogen oder auch komplexe, optische wirksame Reliefstrukturen hergestellt werden. Die Wellenlänge der Excimerlaser im ultravioletten Spektralbereich ermöglicht dabei Strukturdetails mit Abmessungen von weniger als 100 nm. So erfolgt eine Mikro- und Nano-Laserstrukturierung mit Laser kurzer Wellenlängen (ultravioletten Spektralbereich) und kurzer Pulsdauer (0.5 ps bei 248 nm). Ein Verfahren, nach dem das Ende einer Lichtleitwellenfaser zunächst unter einem Winkel geschnitten wird, dann durch kurze Laserimpulse auf die Endform abgetragen wird und zusätzlich eine Politur der Endfläche erfolgt, mit der die Endfläche geglättet wird, ist nicht bekannt.

[0003] Das dem Stand der Technik entsprechende Patent DE 695 25 392 T2 mit dem Titel „Mit Linse versehene Kappe für medizinische Laserlichtabgabevorrichtungen“ beschreibt eine Vorrichtung, die auf eine Lichtwellenleitfaser mit schräg liegender planer Endfläche gesteckt ist. Diese Vorrichtung ist mit verschiedenen Linsen versehen, um eine feste vorgeählte Brennweite der emittierten Strahlung zu gewährleisten. Diese Erfindung verbreitert den Durchmesser der Vorrichtung, dass er breiter wird als der Durchmesser der Lichtwellenleitfaser, wodurch ein Einführen in ein enges Lumen oder das Passieren einer Engstelle nicht mehr möglich ist. Zusätzlich ergeben sich Probleme mit der mechanischen Haltekraft der Vorrichtung auf dem Faserende.

[0004] Eine Vorrichtung die beide Eigenschaften kombiniert, einen Durchmesser im Bereich des Durchmessers der Lichtwellenleitfaser und eine seitlich fokussierte Emission, ist nicht bekannt.

[0005] Eine weitere Problematik stellen Hohlräume und biologische Lumina mit nicht durchgängig gleichem Durchmesser dar, da hier zum effizienten Einsammeln der Strahlung aus der Lumenoberfläche eine variable Fokussierung auf die Lumenoberfläche notwendig ist.

[0006] Nach dem gegenwärtigen Stand der Technik sind mehrere verschiedene Ausführungsformen für Linsen und Spiegel mit veränderlicher Brennweite bekannt. Eine dieser Linsenformen besteht aus einem Flüssigkeitstropfen, an den eine Spannung angelegt wird, wodurch dieser seinen Krümmungsradius ändert, wie z. B. veröffentlicht in „Tunable liquid microlens“ APPLIED PHYSICS LETTERS VOLUME 82, NUMBER 3 20 JANUARY 2003. In Langmuir 2009, Volume 25, No. 6, Page 3876–3879 wird ein adaptiver Hohlspiegel vorgestellt, der auf einem ähnlichen Prinzip mit der Zugabe von an der Grenzfläche als Schicht selbstausrichtenden Spiegelplättchen („Janus-Tiles“) funktioniert. Commander et al. stellten 1995 auf der EOS Third Microlens Arrays Conference eine feste Linse mit einem Flüssigkristallbereich mit variablen Brechungsindex vor, veröffentlicht unter <http://eprints.ucl.ac.uk/2629/>.

[0007] Keiner dem Stand der Technik bekannten Faserapplikatoren verengen über eine Mikrooptik mit variabler Brennweite.

Erfindungsgemäße Lösung

[0008] Die Erfindung betrifft Vorrichtungen zur gerichteten Applikation und Detektion von Licht in Hohlräumen oder Lumen. Ebenfalls erfindungsgemäß sind an einem oder beiden Enden der Lichtwellenleitfaser angebrachte Mikrooptiken mit veränderlichen Brennweiten. Adaptive Linsen und/oder Spiegel werden als veränderliche Elemente verwendet. Diese seitlich fokussiert abstrahlenden sowie konfokal detektierenden Faseroptiken eignen sich zur Inspektion von langen Lumen mit kleinster oder variierenden Durchmesser.

[0009] Eine erfindungsgemäße Vorrichtung zeichnet sich dadurch aus, dass eine seitlich fokussiert abstrahlende sowie konfokal detektierende Faseroptik ohne größeren Durchmesser als den der Lichtwellenleitfaser entsteht. Dies wird dadurch erreicht, dass an der Lichtwellenleitfaser zumindest ein Endstück in einem Winkel zur Längsachse der Lichtwellenleitfaser als Hohlspiegel ausgeformt ist, wobei das ausgeformte Faserende mit einer reflektierenden Beschichtung versehen sein kann. Durch geeignete reflektierende Beschichtungen (im einfachsten Fall beispielsweise eine Aluminium-Bedampfung) wird ein hoher Grad an Reflektivität erreicht. Die Verwendung von Beschichtungen erlaubt eine flexiblere Ausformung der Lichtwellenleitfaserendfläche und Auslegung des Strahlenganges, da die Bedingungen für eine Totalreflexion an der Grenzfläche des distalen Lichtwellenleitfaserendes nicht wie in vielen dem Stand der Technik bekannten Vorrichtungen berücksichtigt werden muss. Damit kann die Ausformung des Hohlspiegels rein mit Hinblick auf die geforderte Brennweite, Brennfleckform und dessen Lage gestaltet werden. Durch die Verwendung von Beschichtungen kann die

Form des Hohlspiegels durch beinahe jede geometrische Form ersetzt werden wie z. B. Keile, Pyramiden mit und ohne Stufen oder segmentierte Anordnungen, die positiv oder negativ aus mindestens einem Ende der Lichtwellenleitfaser geformt werden. Dies ermöglicht es, einen Brennfleck an der Lichtwellenleitfasermantelfläche zu positionieren, wodurch Lichtwellenleitfasern mit maximal einführbaren Durchmesser in Lumen zum Einsatz kommen, was zu einem höheren Lichtdurchsatz und damit einer besseren Sensitivität der angewendeten Verfahren führt. Weiterhin ist es von Vorteil, wenn der Durchmesser der Lichtwellenleitfaser dem Lumen genau angepasst ist, wodurch eine Defokussierung durch ein Entfernen von der Lumenwandung, d. h. aus der Fokusslage des Faserapplikators, vermieden wird.

[0010] In einer weiteren erfindungsgemäßen Ausführungsform der Vorrichtung ist mindestens ein Lichtwellenleitfaserende als Zylinderlinse ausgeformt, wobei die Lichtwellenleitfasermantelfläche als zweite orthogonal dazu stehende Linse dient. So entsteht eine anamorphotische Abbildung, wie durch gekreuzte Zylinderlinsen. Werden beide Brennweiten auf den gleichen Punkt gelegt, ist aus dem gemeinsamen Brennfleck eine effiziente Ein- und Auskoppelung möglich.

[0011] Die oben genannten, erfindungsgemäßen Vorrichtungen können, da die Optik aus der Lichtwellenleitfaser selbst geformt ist, schnell, kostengünstig und gut reproduzierbar an mehreren Lichtwellenleitfaserendflächen gleichzeitig, vor einem eventuellen Beschichten, in einer oder mehreren Polier- oder Präge-Formen gefertigt werden. Die Lichtwellenleitfasern können hier aus Polymer oder Glasmaterialien bestehen. Zur Herstellung der Optik ist außer dem Beschichtungsmaterial kein weiteres Fremdmaterial nötig, das eine potentiellen Fehlerquelle, z. B. durch störende Absorption oder Eigenfluoreszenz, darstellen könnte.

[0012] Eine weitere erfindungsgemäße Vorrichtung zeichnet sich dadurch aus, dass die Lichtwellenleitfasermantelfläche im Bereich des Strahlungsdurchtritts in einer oder zwei Ebenen definiert gekrümmt ist, so dass eine zusätzliche Linsenwirkung entsteht. Dadurch wird der Brennfleck des seitlich ausgekoppelten Lichtes zusätzlich geformt und somit der Abstand des Brennflecks von der Lichtwellenleitfaser eingestellt. Bei Nutzung einer so aufgebauten Mikrooptik zur Einkopplung von Licht, wird das von der Lichtquelle emittierte Licht effizient in die Lichtwellenleitfaser eingekoppelt. Durch Krümmung der Lichtwellenleitfasermantelfläche nur in einer Ebene senkrecht zur Achse der Lichtwellenleitfaser wird eine Zylinderlinse ausgeformt, deren Brennlinie mit einstellbarem Abstand parallel zur Achse der Lichtwellenleitfaser liegt.

[0013] Ein weiteres Bearbeitungsverfahren zur Erzeugung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zeichnet sich dadurch aus, dass auf eine Oberfläche der Lichtwellenleiterfaser ein Laserstrahl gerichtet wird. Die mit ultra-kurzen Laserimpulsen erzielbare hohe Leistungsdichte des Laserstrahls induziert am definierten Ort im Material eine lokale Energieeinwirkung. Abhängig von der Materialkombination und der Leistungsdichte des Laserstrahls kann so am definierten Ort ein gezieltes Abtragen von Material erzielt werden. Eine Leistungsdichte ab ca. 10^{10} W/cm² bewirkt eine effiziente Einkopplung der Laserenergie überwiegend über nicht-lineare optische Effekte der Multiphotonen-Absorption, Tunnel- und Kaskaden-Ionisation. Diese Grenze der Leistungsdichte wird bei der Fokussierung von Laserstrahlung mit Laserimpulsen von 1 ns bereits mit Einzelpulsenergie unter 10 nJ erreicht. Dieses Bearbeitungsverfahren zeichnet sich dadurch aus, dass es insbesondere für Lichtwellenleiter aus Glas oder aus Polymer geeignet ist.

[0014] Die Aufgabe wird durch ein Verfahren der eingangs genannten Art dadurch gelöst, dass erfindungsgemäß der Lichtwellenleiterfasermantel definiert ausgeformt wird, nachdem ein Endstück der Lichtwellenleiterfaser in einem Winkel zur Längsachse der Lichtwellenleiterfaser so bearbeitet ist, dass das im Lichtwellenleiterfaserkern propagierende Licht durch die bearbeitete Mantelfläche geleitet wird. Auch ist es erfindungsgemäß, dass das ausgeformte Faserende ein zylindrischer Hohlspiegel ist, wobei das ausgeformte Faserende eine Zylinderlinse in einem Winkel zur Längsachse der Lichtwellenleiterfaser ausbildet, und in Kombination mit der bearbeiteten Lichtwellenleiterfaserwand einen gemeinsamen Brennfleck, wie durch gekreuzte Zylinderlinsen, erzeugt.

[0015] Durch das oben genannte Verfahren kann für eine bessere seitlich fokussiert abstrahlende sowie konfokal detektierende Faseroptik die durchstrahlte Mantelflächen zusätzlich ausgeformt oder abgetragen werden. Das erfindungsgemäße Verfahren, wird mit einem Laser geeigneter Pulslänge durchgeführt. In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform liegen die Laserimpulsdauern zwischen 0,1 und 50 ps. In einer bevorzugten Ausführungsform erfolgt die Fokussierung des Laserlichtes mit Hilfe eines Mikroskopobjektivs in einem Winkel von 90° zur Achse der Lichtwellenleiterfaser so, dass die Laserstrahlung durch den Fasermantel auf die Grenzfläche zum Faserkern auftrifft und der Fasermantel gezielt abgetragen werden kann. Andere Ausführungsformen der Laserstrahlungsführung sind denkbar, z. B. andere Winkel, Einsatz von Immersionsflüssigkeiten, andere Fokussierungshilfen (Spiegeloptik); Entscheidend für das erfindungsgemäße Verfahren ist eine für die Plasmaentstehung ausreichende Leistungsdichte an definierten Orten der Lichtwellenleiterfaser. Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren hängt die Anordnung

und Struktur der Modifikationen der Lichtwellenleiterfaser von den gewünschten Eigenschaften der Mikrooptik ab. So ist in einer Ausführungsform der Erfindung vorgesehen, die Modifikationen an beliebiger Stelle und in beliebiger Form als Brechungsindexänderung auszuführen.

[0016] Eine weitere erfindungsgemäße Ausführungsform der Vorrichtung zeichnet sich dadurch aus, dass die Brennweite durch mindestens ein veränderliches Element an mindestens einem Ende der Lichtwellenleiterfaser variabel ist. Die mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung erzielten Vorteile bestehen insbesondere darin, dass Applikatoren mit einer veränderlichen Brennweite ein breiteres Anwendungsfeld abdecken und bei Nutzung in den einzelnen Anwendungsgebieten flexibler sind. Durch die verwendeten erfindungsgemäßen Faseroptiken ist durch Miniaturisierung die Erweiterung der Anwendungsbereiche optischer Verfahren z. B. zur Kontaminationskontrolle möglich.

[0017] Eine weitere erfindungsgemäße Ausführungsform der Vorrichtung zeichnet sich dadurch aus, dass an der Lichtwellenleiterfaser zumindest ein Endstück in einem Winkel zur Längsachse der Lichtwellenleiterfaser ausgeformt ist, wobei das ausgeformte Faserende mit einer reflektierenden Beschichtung versehen sein kann, damit Licht auf ein an der Seitenfläche der Lichtwellenleiterfaserwand befestigtes veränderliches Element geleitet wird. Eine plane Fläche an mindestens einem Ende der Lichtwellenleiterfaser kann derart in einem Winkel zur Längsachse der Lichtwellenleiterfaser ausgeformt werden, dass an ihrer Grenzfläche Totalreflexion auftritt. Durch Unterschreiten des Winkels ϵ_g wird gezielt nur ein bestimmter Anteil des in der Lichtwellenleiterfaser propagierenden Lichts ausgekoppelt, durch einen größeren Winkel als ϵ_g wird der Austrittswinkel des Lichtes aus der Lichtwellenleiterfaser variiert. Wie schon oben beschrieben kann auch bei dieser erfindungsgemäßen Ausführungsform, durch die Verwendung von Beschichtungen, die Form der planen Fläche durch beinahe jede geometrische Form, die positiv oder negativ gekrümmt und aus mindestens einem Ende der Lichtwellenleiterfaser geformt wird, ersetzt werden.

[0018] Auch ist es eine erfindungsgemäße Vorrichtung, dass an mindestens einem Ende der Lichtwellenleiterfaser mindestens ein veränderliches Element positioniert ist, wodurch das in der Lichtwellenleiterfaser propagierende Licht auf mindestens ein weiteres an der Seitenfläche der Lichtwellenleiterfaser positioniertes veränderliches Element gelenkt wird.

[0019] Es besteht durch die oben genannten erfindungsgemäßen Vorrichtungen die Möglichkeit, einen Applikator in verschiedenen Lumina mit unterschiedlichen Durchmessern oder in einem Lumen mit variierendem Durchmesser einzusetzen. Eine gerich-

tet und fokussierte, seitliche Anwendung von Licht führt dazu, dass zum einen anstatt einer Vielzahl von Applikatoren für verschiedene Lumina mit unterschiedlichen Durchmessern, nur ein einzelner Applikator ausreichend ist, und zum anderen, dass es möglich ist, Licht gerichtet und fokussiert, seitlich von einer (Lumen-)Oberfläche mit variablem Durchmesser aus- und/oder einzukoppeln. Eine Defokussierung, durch ein Entfernen von der Lumenwandung, d. h. aus der Fokusslage des Applikators, kann mit Hilfe einfacher Programme automatisch ausgeglichen werden (Autofokus, z. B. über die Maximierung der Intensität des rückgestrahlten Lichtanteils).

[0020] Eine weitere erfindungsgemäße Ausführungsform der Vorrichtung zeichnet sich dadurch aus, dass das veränderliche Element aus einer Linse besteht, die in Flüssigkristall eingebettet ist, wobei der Brechungsindex des Flüssigkristalls durch das Anlegen einer elektrischen Spannung variiert wird. Je nachdem ob die Ausformung der Linse konkav oder konvex ist hat das veränderliche Element eine variable negative oder positive Brennweite. Die Linse kann aus der Lichtwellenleitfaser oder aus einem aufgetragenen Fremdmaterial geformt sein; Es ist auch erfindungsgemäß, dass sie bereits im veränderlichen Element integriert ist.

[0021] Eine weitere erfindungsgemäße Ausführungsform der Vorrichtung zeichnet sich dadurch aus, dass das veränderliche Element eine Flüssiglinse aus mindestens zwei sich nicht mischenden Flüssigkeiten mit unterschiedlichen Brechzahlen und elektrischen Eigenschaften besteht, wobei die Krümmung der Grenzfläche durch das Anlegen einer elektrischen Spannung variiert wird. An der Grenzfläche zwischen den zwei Flüssigkeiten kann mindestens ein reflektierendes Material positioniert sein. Dieses veränderliche Element ermöglicht eine gerichtete, fokussierte oder aufgeweitete Auskopplung von Licht aus der Lichtwellenleitfaser. Bei Flüssiglinsen die aus mindestens zwei nicht mischenden Flüssigkeiten von möglichst gleicher spezifischer Dichte (lageunabhängiger Betrieb), unterschiedlichen Brechzahlen und elektrischen Eigenschaften bestehen, reicht die Brennweite vom negativen bis in den positiven Bereich an einem gegebenen veränderlichen Element. Ein veränderlicher Spiegel (Flüssiglinse mit reflektierendem Material an der Grenzfläche) kann sich konvex, plan und konkav ausformen. Eine erfindungsgemäße Ausführungsform der Vorrichtung zeichnet sich durch eine Ansteuerung der elektrisch veränderlichen Elemente aus. Die veränderlichen Elemente werden z. B. durch leitende Ummantelungen (**260**) der Lichtwellenleitfasern angesteuert. Auch ist es erfindungsgemäß, dünne Drähte an der Lichtwellenleitfaser anzubringen oder Schutzummantelungen (**570**) mit integrierten elektrischen Leitern zu verwenden.

[0022] Eine weitere erfindungsgemäße Ausführungsform der Vorrichtung zeichnet sich dadurch aus, dass das veränderliche Element eine Grenzfläche aus einem flexiblen Material hat, welches transparent oder reflektierend ist, wobei die Krümmung des flexiblen Materials durch Variation eines Fluid- oder Gasdrucks geändert wird. Dies ermöglicht, eine variable, gerichtete und fokussierte Anwendung von Licht ohne elektrische Bauelemente am Applikator. Geeignete Fluide können gleichzeitig zur Kühlung des flexiblen Materials genutzt werden. Die erfindungsgemäße Ausführungsform der Vorrichtung zeichnet sich dadurch aus, dass ein Gas oder Fluid durch Kapillare zum veränderlichen Element geleitet wird, oder eine zweite geeignete Lichtwellenlänge in der Faser propagiert, die bei dem flexiblen Material, Gas oder Fluid zu einer Erwärmung führt, wodurch sich die Krümmung der Oberfläche ändert.

[0023] In den erfindungsgemäßen Ausführungsformen werden die veränderlichen Elemente durch Kleben, Stecken oder Schmelzen direkt an der Lichtwellenleitfaser zu befestigen. Weiterhin ist es erfindungsgemäß, die Mikrooptiken in separaten Halterungen (im folgenden Vorsatz genannt) zu fertigen und sie mit einer der oben genannten Möglichkeiten an der Lichtwellenleitfaser zu befestigen.

[0024] Eine weitere erfindungsgemäße Ausführungsform wird in der Längsachse der Lichtwellenleitfaser Material in Form eines Kegels mit einem Öffnungswinkel (α) (etwa 90° beim Übergang von SiO_2 zu Luft) entfernt, wobei α so zu wählen ist, dass α kleiner als der doppelte Winkel ϵ_g ist. Andere Winkel ergeben sich daher bei Einsatz des Faserapplikators eingetaucht in Wasser oder spezielle Fluide. Das in der Lichtwellenleitfaser geführte Licht wird orthogonal (radial) zur Längsachse der Lichtwellenleitfaser ausgekoppelt. Durch ein ringförmiges veränderliches Element bildet sich ein radialer (360° umschließender) Fokus mit einer variablen Brennweite bevorzugt in 90° zur Längsachse der Lichtwellenleitfaser. Wird die Lichtwellenleitfaser in ein Lumen eingeführt ist die Lumenwand am distalen Ende mit einem Ring (dünner Streifen) beleuchtet. Reflektiertes, von Fluoreszenz oder durch Raman-Prozesse isotrop von der Lumenwand abgestrahltes Licht wird mit einer hohen Effizienz von der gleichen beleuchteten Stelle seitlich in das distale Ende der Lichtwellenleitfaser eingekoppelt. Die Kombination der Aus- und Einkoppeleigenschaften dieser Ausführungsform ermöglicht hoch sensitive, radial wirkende, konfokale Spektroskopie in Lumen mit der Möglichkeit, gezielt hohe Lichtintensitäten an die Stelle der Detektion zu fokussieren.

Beschreibung der Zeichnungen

[0025] **Fig. 1** zeigt eine dreidimensionale Darstellung einer Lichtwellenleitfaser, an der ein Endstück als Hohlspiegel ausgeformt ist.

[0026] **Fig. 2** zeigt eine schematische Darstellung einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung, einen Längsschnitt einer Lichtwellenleitfaser, an der ein Endstück als Hohlspiegel ausgeformt und mit einem reflektierenden Material beschichtet ist.

[0027] **Fig. 3** zeigt eine schematische Darstellung einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung, einen Querschnitt (A-A **Fig. 2**) einer Lichtwellenleitfaser, an der ein Endstück als Hohlspiegel ausgeformt und mit einem reflektierenden Material beschichtet ist.

[0028] **Fig. 4** zeigt eine dreidimensionale Darstellung einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung, eine Lichtwellenleitfaser, an der ein Endstück als zylindrischen Hohlspiegel in einem Winkel zur Längsachse der Lichtwellenleitfaser ausgeformt ist.

[0029] **Fig. 5** zeigt eine schematische Darstellung einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung, einen Längsschnitt einer Lichtwellenleitfaser an der ein Endstück als zylindrischen Hohlspiegel in einem Winkel zur Längsachse der Lichtwellenleitfaser ausgeformt und mit einem reflektierenden Material beschichtet ist.

[0030] **Fig. 6** zeigt eine schematische Darstellung einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung, einen Querschnitt (B-B **Fig. 4**) einer Lichtwellenleitfaser, an der ein Endstück als zylindrischer Hohlspiegel in einem Winkel zur Längsachse der Lichtwellenleitfaser ausgeformt und mit einem reflektierenden Material beschichtet ist.

[0031] **Fig. 7** zeigt eine schematische Darstellung einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung, einen Querschnitt (B-B **Fig. 4**) einer Lichtwellenleitfaser, an der ein Endstück als zylindrischen Hohlspiegel in einem Winkel zur Längsachse der Lichtwellenleitfaser ausgeformt, mit einem reflektierenden Material beschichtet ist und zusätzlich die Krümmung der Lichtwellenleitfasermantelfläche im Bereich des Strahlungsdurchtritts in Richtung einer kürzeren Brennweite angepasst ist.

[0032] **Fig. 8** zeigt eine schematische Darstellung einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung, einen Querschnitt einer Lichtwellenleitfaser, an der ein Endstück als Hohlspiegel in einem Winkel zur Längsachse der Lichtwellenleitfaser ausgeformt, mit einem reflektierenden Material beschichtet ist und zusätzlich die Krümmung der Lichtwellenleitfasermantelflä-

che im Bereich des Strahlungsdurchtritts in Richtung einer längeren Brennweite angepasst ist.

[0033] **Fig. 9** zeigt eine schematische Darstellung einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung, eine Lichtwellenleitfaser mit einem veränderlichen Element an einem Endstück, bestehend aus einer Linse, die in Flüssigkristall eingebettet ist, wobei der Brechungsindex des Flüssigkristalls durch das Anlegen einer elektrischen Spannung variiert wird.

[0034] **Fig. 10** zeigt eine schematische Darstellung einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung, eine Lichtwellenleitfaser mit elektrisch leitender Ummantelung im Querschnitt (C-C von **Fig. 9**).

[0035] **Fig. 11** zeigt eine schematische Darstellung einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung, eine Lichtwellenleitfaser mit elektrisch leitender Ummantelung im Querschnitt (C-C von **Fig. 9**).

[0036] **Fig. 12** zeigt eine schematische Darstellung einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung, wobei an der Lichtwellenleitfaser ein Endstück in einem Winkel zur optischen Achse der Lichtwellenleitfaser ausgeformt ist, wobei das ausgeformte Faserende mit einer reflektierenden Beschichtung versehen ist, wodurch das in der Lichtwellenleitfaser propagierende Licht auf ein an der Mantelfläche der Lichtwellenleitfaser angebrachtes, veränderliches Element, bestehend einer Flüssiglinse mit zwei sich nicht mischenden, für die Strahlung transparenten Flüssigkeiten mit unterschiedlichen Brechzahlen und elektrischen Eigenschaften, wobei die Krümmung der Grenzfläche durch das Anlegen einer elektrischen Spannung variiert, gelenkt wird.

[0037] **Fig. 13** zeigt die Darstellung einer bevorzugten Ausführungsform, den in **Fig. 40** angegebenen Querschnitt D-D.

[0038] **Fig. 14** zeigt eine schematische Darstellung einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung, wobei an der Lichtwellenleitfaser ein Endstück in einem Winkel zur optischen Achse der Lichtwellenleitfaser mit einem veränderlichen Element angebracht ist, wodurch das in der Lichtwellenleitfaser propagierende Licht auf ein an der Mantelfläche der Lichtwellenleitfaser positioniertes weiteres veränderliches Element gelenkt wird.

[0039] **Fig. 15** zeigt die Darstellung einer bevorzugten Ausführungsform, den in **Fig. 50** angegebenen Querschnitt E-E.

[0040] **Fig. 16** zeigt eine schematische Darstellung einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung, wobei an der Lichtwellenleitfaser ein Vorsatz mit integrierter Mikrooptik befestigt ist.

[0041] Fig. 17 zeigt eine schematische Darstellung einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung, wobei an der Lichtwellenleitfaser an einem Endstück ein reflektierendes Bauteil in Kegelform angebracht ist, bzw. Material unter Unterschreiten des Grenzwinkels ϵ_g für eine Totalreflexion entfernt ist, wodurch das in der Lichtwellenleitfaser propagierende Licht auf ein an der Mantelfläche der Lichtwellenleitfaser positioniertes, veränderliches Element gelenkt wird.

[0042] Fig. 18 zeigt eine schematische Darstellung einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung, den in Fig. 70 angegebenen Querschnitt E-E.

[0043] Eine erfindungsgemäße Ausführungsform ist in Fig. 1, Fig. 11 und Fig. 12 gezeigt. Das im Lichtwellenleiter propagierende Licht ist hier idealisiert durch Lichtstrahlen dargestellt, die sich parallel zur Lichtwellenleitfaserachse ausrichten. Die grundsätzlichen Überlegungen gelten aber auch für Lichtwellenleitfasern mit reeller Lichtpropagation, die unter einem Winkel zur Lichtwellenleitfaserachse erfolgt. Die Lichtwellenleitfaser (200) mit integrierter Faseroptik ist an einem Faserende wie ein Hohlspiegel (120) ausgeformt und reflektierend beschichtet (270). Fig. 2 zeigt in einem Längsschnitt das im Kern (240) propagierende Licht (280), wie es gerichtet und fokussiert seitlich auf einen Brennfleck (190), der eine räumliche Ausdehnung besitzt, am äußeren Rand der Lichtwellenleitfasermantelfläche (150) ausgekoppelt und/oder von dort eingekoppelt wird, ohne das die Faseroptik den Durchmesser (215) der Lichtwellenleitfaser (200) überschreitet. In Fig. 3 ist in einem Querschnitt (Schnitt A-A von Fig. 2) der Lichtwellenleitfaser zu sehen, wie das Licht allein durch die Ausformung in Hohlspiegelform in den Brennfleck gelenkt wird.

[0044] Eine weitere erfindungsgemäße Ausführung einer Faseroptik mit fester Brennweite ist in Fig. 4, Fig. 21 und Fig. 22 gezeigt. Fig. 4 ist eine dreidimensionale Darstellung. In dieser erfindungsgemäßen Ausführungsform ist das Faserende zu einem zylindrischen Hohlspiegel (220) ausgeformt und reflektierend beschichtet (270) (z. B. mit Aluminium), wobei das ausgeformte Faserende eine Zylinderlinse mit Krümmung orthogonal zur Längsachse (230) der Lichtwellenleitfaser ausbildet. Diese Zylinderlinse (220) erzeugt in Kombination mit der Lichtwellenleitfaserwand (221) (z. B. Mantel (250)) einen Brennfleck (290) wie durch gekreuzte Zylinderlinsen. Fig. 5 zeigt einen Längsschnitt der Ausführungsform. Das durch die Lichtwellenleitfaser (200) propagierende Licht (280) wird an der Beschichtung (270) des zylindrischen Hohlspiegels (220) gebündelt, reflektiert und durch den Lichtwellenleitfasermantel (250) geleitet. Der in Fig. 6 dargestellte Schnitt A-A von Fig. 5 zeigt, wie das in der Lichtwellenleitfaser (200) propagierende Licht (280) an der Beschichtung (270) reflektiert wird. Das Licht (271) wird durch den op-

tischen Mantel (250) zur Lichtwellenleitfaserwand (210) geleitet, dort gebrochen und in einem Brennfleck (290) fokussiert. Die in Fig. 7 und Fig. 8 gezeigten erfindungsgemäßen Ausführungsformen zeigen zusätzlich eine Bearbeitung des optischen Mantels (250) der Lichtwellenleitfaser. In Fig. 7 ist Mantelfläche (221) gezielt so entfernt worden, dass der verbleibende Teil eine zusätzliche Linsenwirkung mit kurzer Brennweite ausbildet. Dadurch wird der Arbeitsabstand für den Brennfleck (290) des seitlich ausgekoppelten Lichtes verringert, wodurch bei Nutzung einer so aufgebauten Mikrooptik Lichtwellenleitfasern mit einem größeren Durchmesser (215) eingesetzt werden können. Die in Fig. 8 gezeigte erfindungsgemäße Ausführungsform vergrößert den Arbeitsabstand der Mikrooptik dadurch, dass der optische Mantel (250) der Lichtwellenleitfaser im Bereich des Lichtdurchtrittes durch das Abtragen abgeflacht wird. Ein größerer Arbeitsabstand ist für Anwendungen bei denen es zu einer Kontamination der Mikrooptik kommen kann, von großem Nutzen.

[0045] Eine weitere erfindungsgemäße Ausführung ist in Fig. 9 im Längsschnitt gezeigt. An einer Lichtwellenleitfaser wird an einem Endstück ein veränderliches Element, bestehend aus einem elektrisch nicht leitendem Gehäuse (325), in dem eine Linse (320) sitzt, die in einem Flüssigkristall (323) eingebettet ist, und das z. B. mit optischem Kleber (321) befestigt ist. Der Brechungsindex des Flüssigkristalls (323) wird durch das Anlegen einer elektrischen Spannung variiert, wodurch sich die Brennweite der Mikrooptik ändert. Die elektrische Ansteuerung des veränderlichen Elements erfolgt z. B. über elektrisch leitende Lichtwellenleitfasermantelungen (360 und 361) die, wie in Fig. 10 und schematisch in Fig. 11 als Schnitt C-C von Fig. 9 gezeigt, an zwei Stellen (362) entlang der Längsachse der Lichtwellenleitfaser separiert sind. Die elektrische Spannung wird über leitfähige Verbindungen (324) z. B. durch ITO-Schichten (322) an den Flüssigkristall angelegt. Damit das veränderliche Element gezielt angesteuert werden kann, wird an einem Ende einer ITO-Schicht (322) ein Isolator (326) eingefügt.

[0046] Eine erfindungsgemäße Ausführungsform mit seitlich gerichteter Abstrahlung und variabler Brennweite ist in Fig. 12 beschrieben. Ein Endstück der Lichtwellenleitfaser wird in einem definierten Winkel (hier 45°) zur optischen Achse der Lichtwellenleitfaser als plane Fläche (420) ausgeformt, wobei das ausgeformte Faserende mit einer reflektierenden Beschichtung (270) versehen ist. Das in der Lichtwellenleitfaser propagierende Licht wird so auf ein an der Lichtwellenleitfasermantelfläche angebrachtes veränderliches Element, bestehend aus zwei transparenten Fenstern (425), elektrischen Kontakten (422) an den Seitenflächen mit dazwischen liegender Isolatorschicht (423) und einer Flüssiglinse mit zwei sich nicht mischenden Flüssigkeiten (431

und 432), gelenkt. Das Licht trifft auf transparente Flüssigkeiten mit unterschiedlichen Brechzahlen und elektrischen Eigenschaften, wobei die Krümmung der Grenzfläche zwischen den beiden Flüssigkeiten durch das Anlegen einer elektrischen Spannung variiert wird, und so die Brennweite des veränderlichen Elements eingestellt wird. Eine elektrische Ansteuerung des veränderlichen Elementes geschieht wie in Fig. 41, Schnitt D-D von Fig. 12, gezeigt auf ähnliche Weise, wie oben (Fig. 9 ff) beschrieben über elektrische Lichtwellenleiterummantelungen (360 und 361). Der Querschnitt zeigt schematisch die Befestigung mit Kleber (421) und die genaue Ansteuerung über die elektrischen Kontakte (422).

[0047] Die in Fig. 14 gezeigte, erfindungsgemäße Ausführungsform zeichnet sich durch zwei veränderliche Elemente an einem Ende der Lichtwellenleiter aus. Durch die Kombination von zwei veränderlichen Elementen ist eine flexiblere Gestaltung des Strahlenganges außerhalb der Lichtwellenleiter möglich. In dieser erfindungsgemäßen Ausführungsform wird anstelle einer reflektierenden Beschichtung ein veränderliches Element verwendet, um das in der Lichtwellenleiter propagierende Licht auf ein weiteres an der Lichtwellenleiterummantelung befestigtes veränderliches Element zu lenken. Das in einem Winkel zur Längsachse der Lichtwellenleiter stehende veränderliche Element besteht aus zwei transparenten Fenstern (425), elektrischen Kontakten (422) an den Seitenflächen mit dazwischen liegender Isolatorschicht (423) und einem variablen adaptiven Spiegel mit zwei sich nicht mischenden Flüssigkeiten (431 und 432) zwischen denen sich an der Grenzfläche angeordnetes, reflektierendes Material als Membran oder reflektierende Plättchen (531) befinden. Eine Ansteuerung der veränderlichen Elemente geschieht über elektrische Kabel (560 bis 563), die in eine zusätzliche Schutzummantelung (570) eingebettet werden können. In Fig. 15, Schnitt E-E von Fig. 14, ist eine Klemmhalterung (521) zu sehen, die der Vorrichtung zusätzlich zu dem verwendeten Kleber (421) Stabilität verleiht.

[0048] Bei der in Fig. 16 gezeigten erfindungsgemäßen Ausführungsform handelt es sich um einen Vorsatz mit integrierter Mikrooptik (600), welche aus einem reflektierenden (670) und einem veränderlichen Element (632) besteht. Der Vorsatz kann durch kleben, aufschmelzen oder Glaslot (621) direkt an eine Lichtwellenleiter befestigt werden.

[0049] Einen weitere erfindungsgemäße Ausführungsform zeichnet sich dadurch aus, dass an der Lichtwellenleiter ein Endstück eingebracht ist, das aus einem reflektierenden Bauteil in Kegelform (770) besteht, bzw. Material unter Unterschreiten des Grenzwinkels ($90^\circ - \frac{\alpha}{2}$) = ϵ_g für eine Totalreflexion in Kegelform entfernt ist. Durch die Mantelfläche des Kegels (770) wird das in der Lichtwellenleiter pro-

pagierende Licht auf ein an der Mantelfläche der Lichtwellenleiter positioniertes, sich um die ganze Faser herum erstreckendes, veränderliches Element gelenkt. In Fig. 18 ist der Querschnitt F-F aus Fig. 17 gezeigt. Hieraus wird ersichtlich, dass eine radiale fokussierte Aus- und Einkopplung mit variabler Brennweite, z. B. durch ein Autofokus-System gesteuert, erfolgt, was einen Einsatz in Rohr- oder Schlauchsystemen mit verschiedenen Innendurchmessern ermöglicht. Das Anwendungsfeld reicht von der Reinigungskontrolle in Krankenhäusern (langgestreckte Lumen in Medizinprodukten), über die Detektion von Biofilmen in Gasversorgungsleitungen bis hin zur Lebensmittelindustrie, wo es in Rohrleitungen in Molke- und Brauereien zum Einsatz kommen kann.

Bezugszeichenliste

ϵ_g	Grenzwinkel der Totalreflexion
α	Öffnungswinkel des Kegels
120	Als Hohlspiegel ausgeformtes Faserende
150	Lichtwellenleitermantelfläche
180	Im Kern propagierendes Licht
190	Brennfleck des Hohlspiegels
200	Lichtwellenleiter
210	Lichtwellenleiterwand
215	Durchmesser der Lichtwellenleiter
220	Als zylindrischen Hohlspiegel ausgeformtes Faserende
221	Entfernte (bearbeitete) Mantelfläche
230	Längsachse der Lichtwellenleiter
240	Kern der Lichtwellenleiter
250	Optischer Mantel der Lichtwellenleiter
260	Lichtwellenleiterummantelung
270	Reflektierende Beschichtung
271	Lichtweg des reflektierten Lichtes
280	Im Kern propagierendes Licht
281	Strahlengang des Lichts außerhalb der Lichtwellenleiter
290	Brennfleck
320	Optische Linse
321	Optischer Kleber
322	transparente, elektrisch leitfähige Schicht, z. B. ITO (Indiumzinnoxid (englisch indium tin oxide))
323	Brechungsindex-ändernder Flüssigkristall
324	Leitende Verbindung
325	elektrisch nicht leitfähiges Gehäuse
326	Isolator
360	Elektrisch leitfähige Lichtwellenleiterummantelung
361	Elektrisch leitfähige Lichtwellenleiterummantelung
362	Isolator, bzw. entfernte elektrisch leitfähige Lichtwellenleiterummantelung

420	Als plane Flächen ausgeformten Faserende
421	Kleber
422	Elektrischer Kontakt
423	Isolator
425	Transparente Fenster
431	Flüssigkeit 1
432	Flüssigkeit 2
521	Klemmhalterung
531	Schicht reflektierender Plättchen
560–563	Elektrische Kabel zur Ansteuerung der veränderlichen Elemente
570	Schutzummantelung
600	Vorsatz mit integrierter Mikrooptik
621	Klebe-, Schmelzverbindung bzw. Glaslot
632	Veränderliches Element
670	Reflektierendes Element
680	Lichtweg im Lichtwellenleitfaseraufsatz
681	Lichtweg des am reflektierenden Element umgelenkten Lichtes
770	Kegel aus reflektierendem Material, bzw. entferntes Material

ZITATE ENHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- US 5537499 [0002]
- DE 69525392 T2 [0003]

Zitierte Nicht-Patentliteratur

- <http://www.llg-ev.de/produkte-und-dienstleistungen/thematischer-index.html> [0002]
- „Tunable liquid microlens” APPLIED PHYSICS LETTERS VOLUME 82, NUMBER 3 20 JANUARY 2003 [0006]
- Langmuir 2009, Volume 25, No. 6, Page 3876–3879 [0006]
- Commander et al. [0006]
- <http://eprints.ucl.ac.uk/2629/> [0006]

Patentansprüche

1. Vorrichtung bestehend aus einer Lichtwellenleitfaser mit integrierter Mikrooptik, aus der Licht gerichtet und fokussiert seitlich ausgekoppelt und/oder eingekoppelt wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass an der Lichtwellenleitfaser zumindest ein Endstück in einem Winkel zur Längsachse der Lichtwellenleitfaser als Hohlspiegel ausgeformt ist, wobei das ausgeformte Faserende mit einer reflektierenden Beschichtung versehen sein kann.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das ausgeformte Faserende einen zylindrischen Hohlspiegel, dessen Fläche in einem Winkel zur Längsachse der Lichtwellenleitfaser steht, und in Kombination mit der Lichtwellenleitfasermantelfläche einen gemeinsamen Brennfleck wie durch gekreuzte Zylinderlinsen erzeugt.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Lichtwellenleitfasermantelfläche im Bereich des Strahlungsdurchtritts in einer oder zwei Ebenen definiert gekrümmt ist, so dass eine zusätzliche Linsenwirkung entsteht, wodurch der Brennfleck des seitlich ausgekoppelten Lichtes zusätzlich geformt und der Abstand des Brennflecks von der Lichtwellenleitfaser eingestellt wird.

4. Verfahren zur Herstellung von Mikrooptiken an Endstücken von Lichtwellenleitfasern dadurch gekennzeichnet, dass das Fasermaterial zunächst unter einem Winkel geschnitten wird und dann durch kurze Laserimpulse auf die definierte Endform abgetragen wird; Zusätzlich kann eine Politur der Endfläche erfolgen.

5. Vorrichtung bestehend aus einem Applikator aus einer Lichtwellenleitfaser mit integrierter Mikrooptik, aus dem Licht gerichtet und fokussiert ausgekoppelt und/oder eingekoppelt wird, dadurch gekennzeichnet, dass die Fokusslänge, durch mindestens ein veränderliches Element an mindestens einem Ende der Lichtwellenleitfaser variabel ist, und durch Kleben, Stecken oder Schmelzen an der Lichtwellenleitfaser befestigt ist sowie eine elektrische Ansteuerung durch elektrisch leitfähige in die Ummantelung integrierte Zuleitungen.

6. Vorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass an der Lichtwellenleitfaser zumindest ein Endstück, in einem Winkel zur optischen Achse der Lichtwellenleitfaser ausgeformt ist, wobei das ausgeformte Faserende mit einer reflektierenden Beschichtung oder mindestens einem veränderlichen Element versehen sein kann, wodurch das in der Lichtwellenleitfaser propagierende Licht auf mindestens ein an der Mantelfläche der Lichtwellenleitfaser positioniertes veränderliches Element gelenkt wird.

7. Vorrichtung nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass das veränderliche Element aus einer Linse besteht, geformt aus dem Lichtwellenleitfasermaterial oder durch aufgebracht Fremdmaterial, die in Flüssigkristall eingebettet ist, wobei der Brechungsindex des Flüssigkristalls durch das Anlegen einer elektrischen Spannung variiert wird.

8. Vorrichtung nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass das veränderliche Element aus einer Flüssiglinse aus mindestens zwei sich nicht mischenden, für die Strahlung transparenten Flüssigkeiten mit unterschiedlichen Brechzahlen und elektrischen Eigenschaften besteht, wobei die Krümmung der Grenzfläche durch das Anlegen einer elektrischen Spannung variiert wird.

9. Vorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass an der Grenzfläche zwischen den zwei Flüssigkeiten zusätzlich mindestens ein reflektierendes Material positioniert ist.

10. Vorrichtung nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass das veränderliche Element eine Grenzfläche aus einem flexiblen Material hat, welches für die Strahlung transparent oder reflektierend ist, wobei die Krümmung des flexiblen Materials durch Temperaturexpansion oder Variation eines darauf wirkenden Fluid- oder Gas-Drucks geändert wird.

Es folgen 9 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

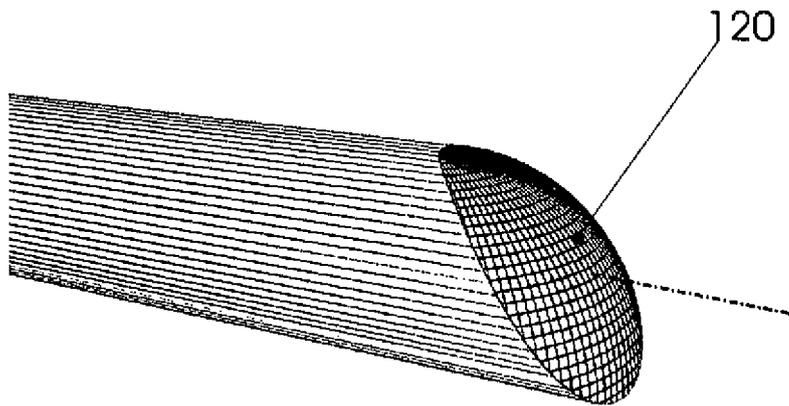


FIG. 1

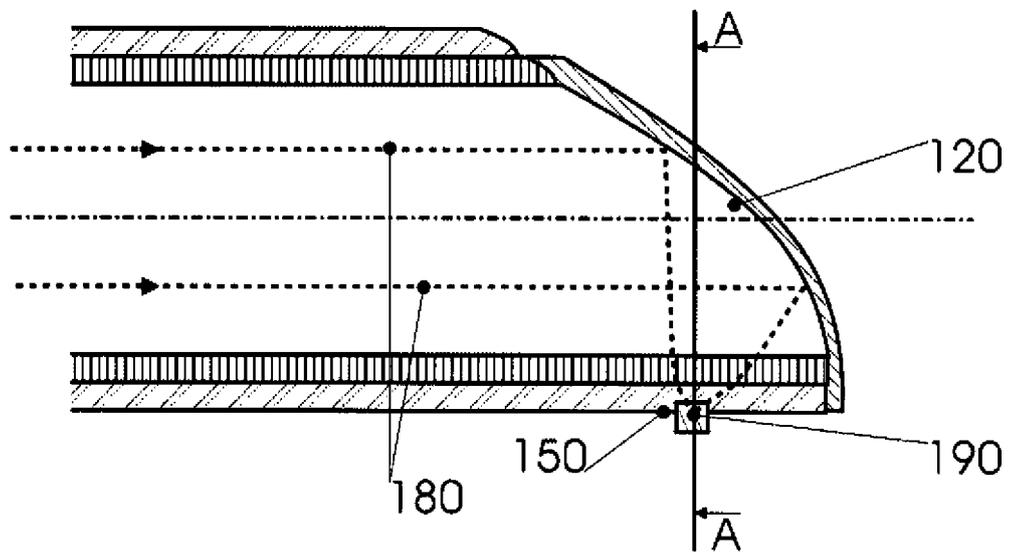


FIG. 2

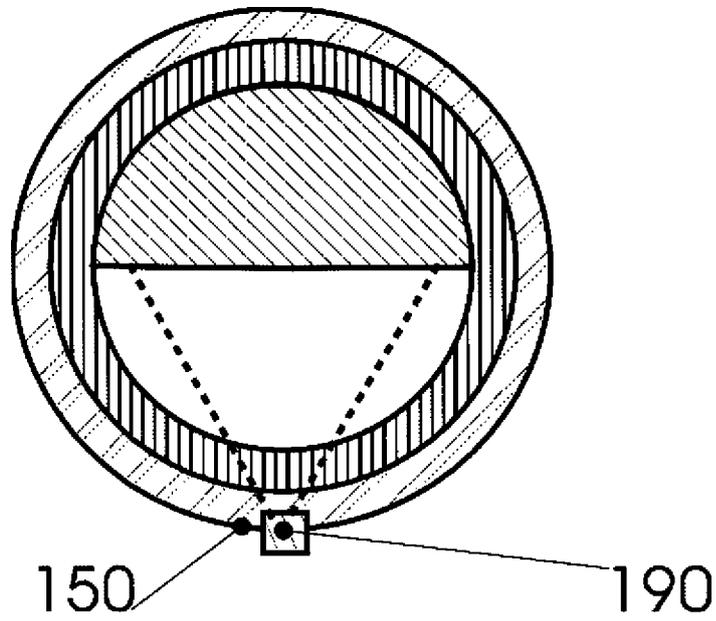


FIG. 3 Schnitt A-A

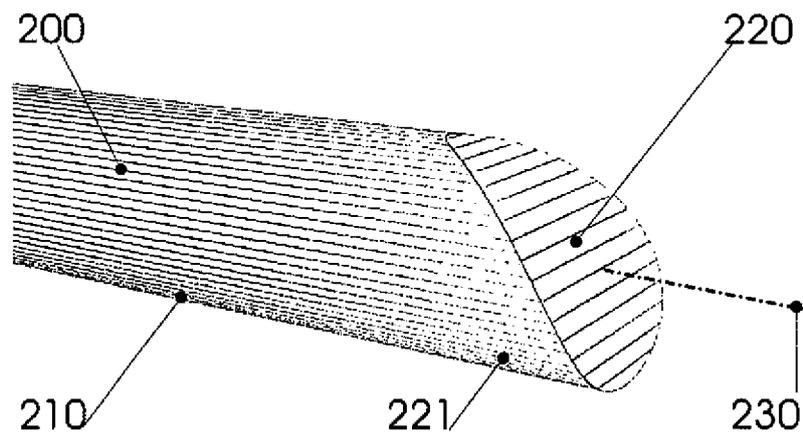


FIG. 4

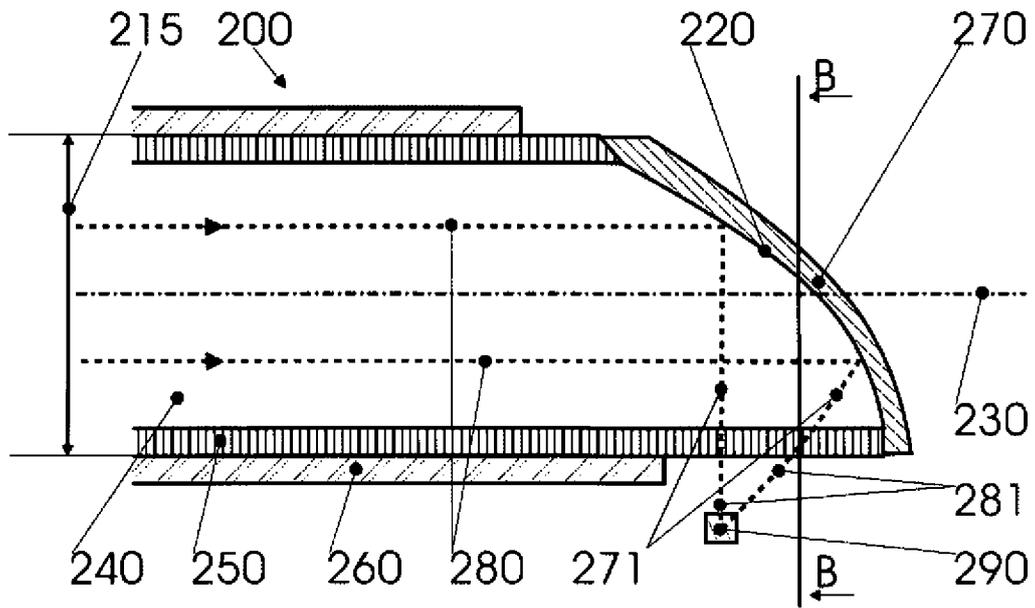


FIG. 5

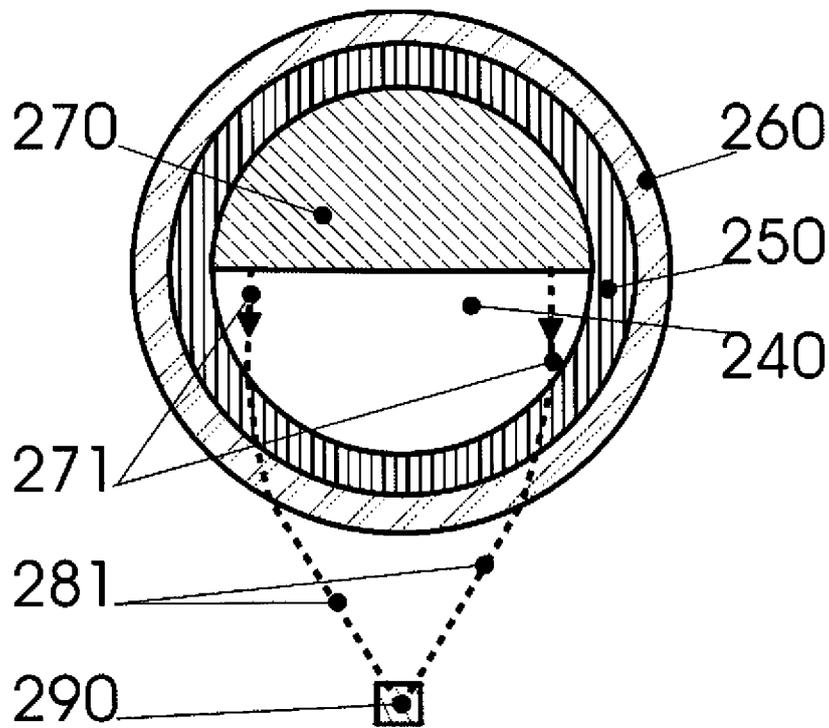


FIG. 6 Schnitt B-B Variante 1

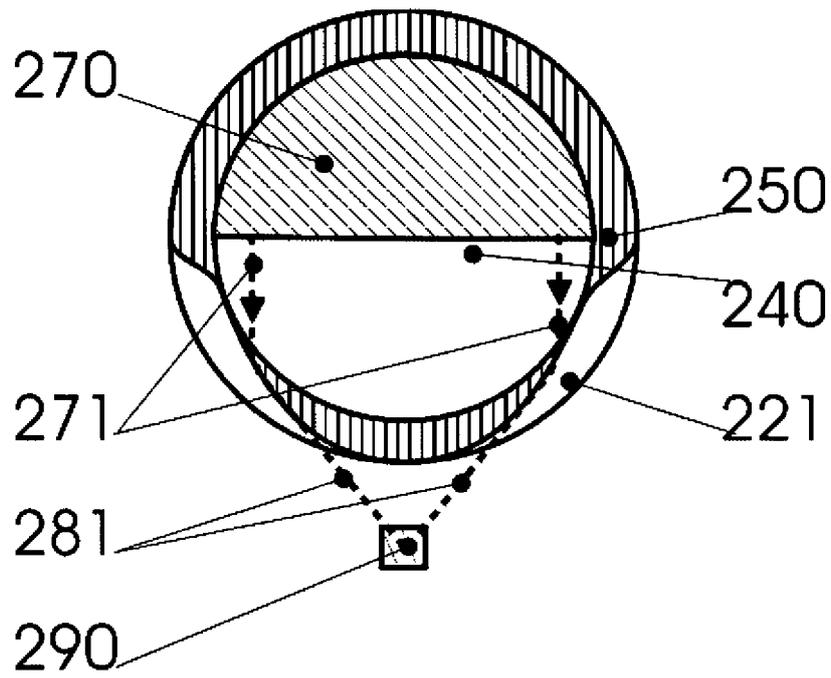


FIG. 7 Schnitt B-B Variante 2

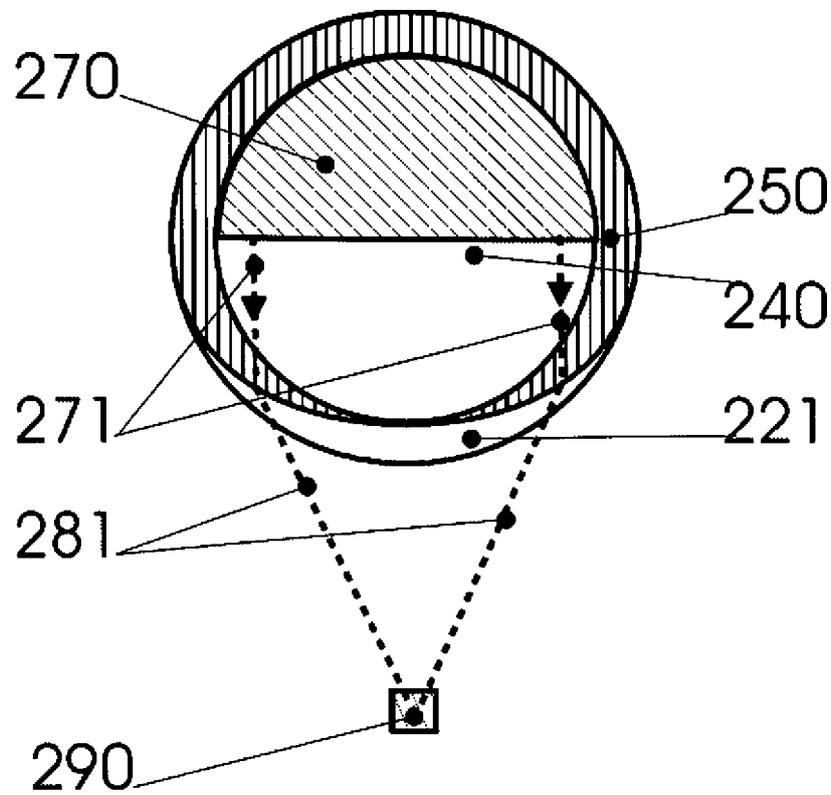


FIG. 8 Schnitt B-B Variante 3

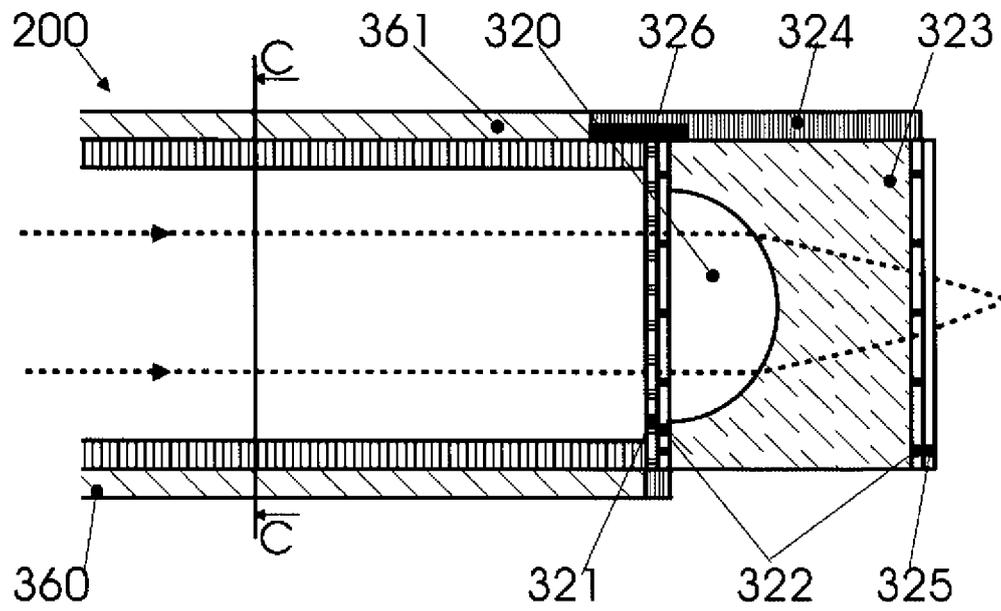


FIG. 9

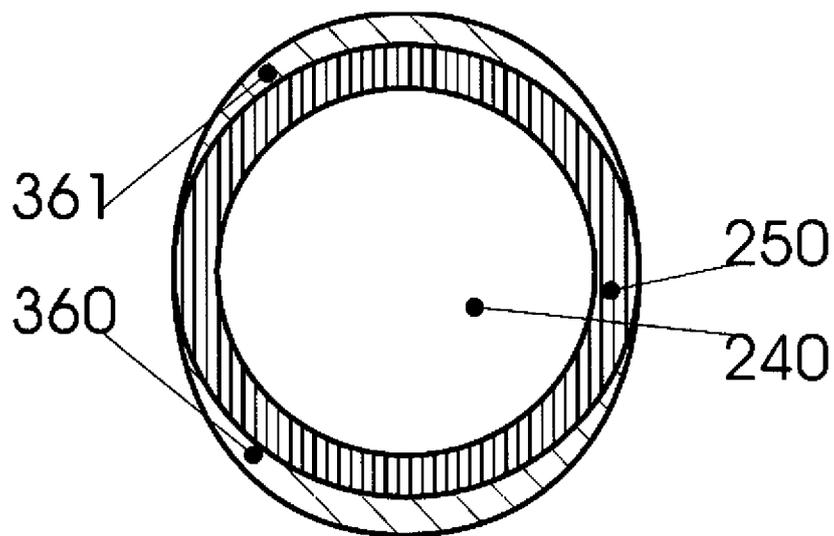


FIG. 10 Schnitt C-C Variante 1

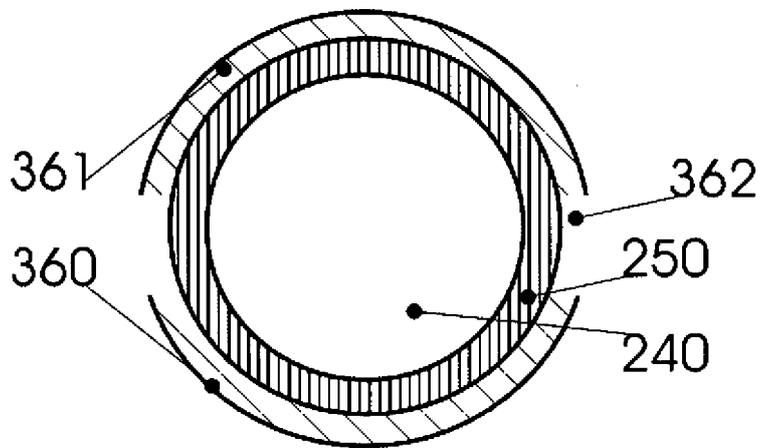


FIG. 11 Schnitt C-C Variante 2

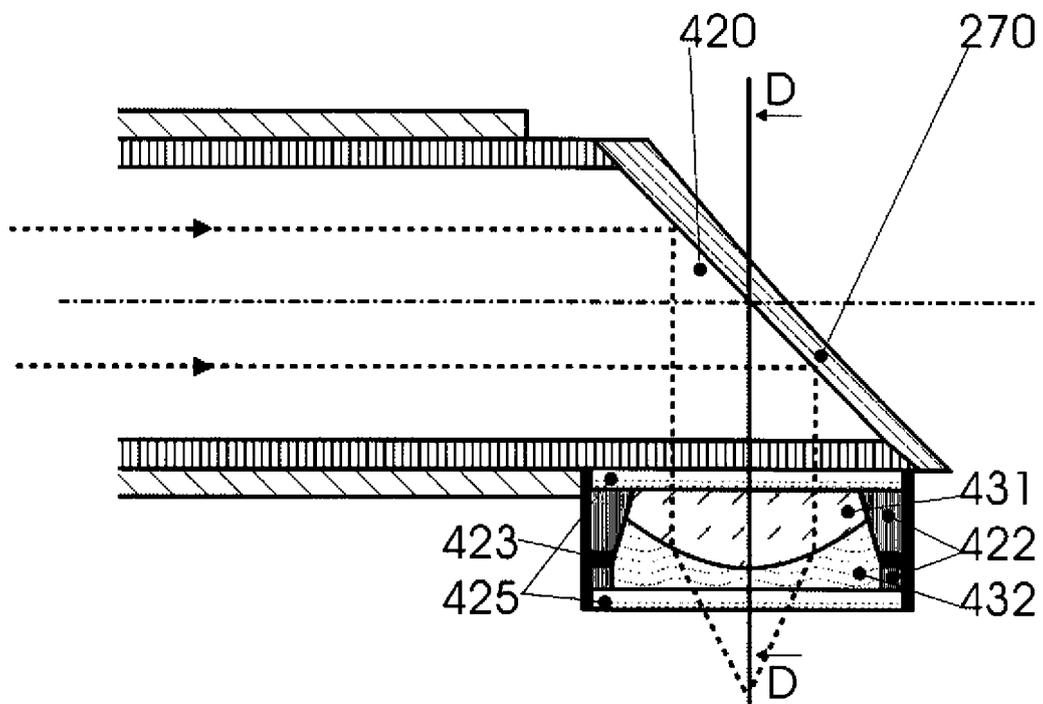


FIG. 12

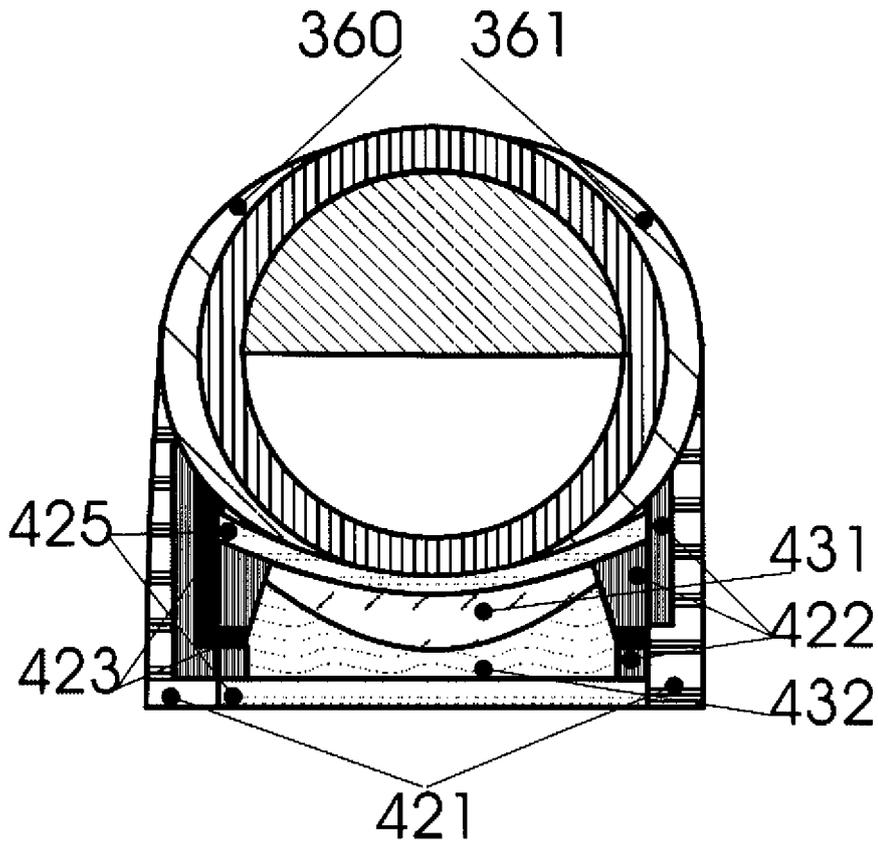


FIG. 13 Schnitt D-D

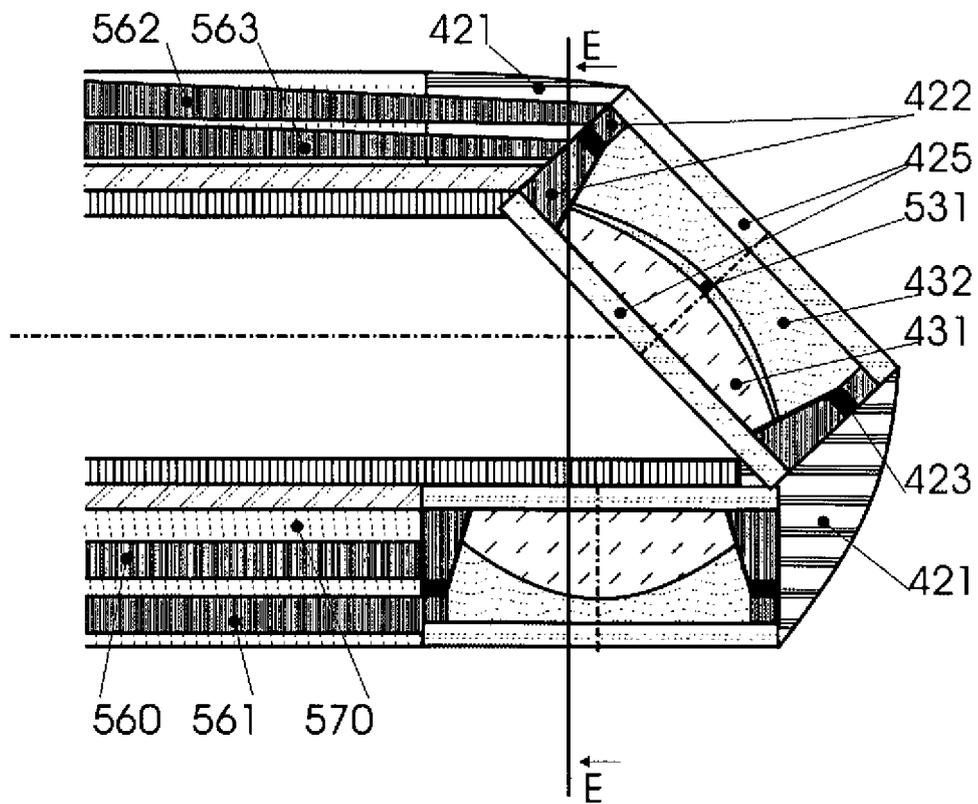


FIG. 14

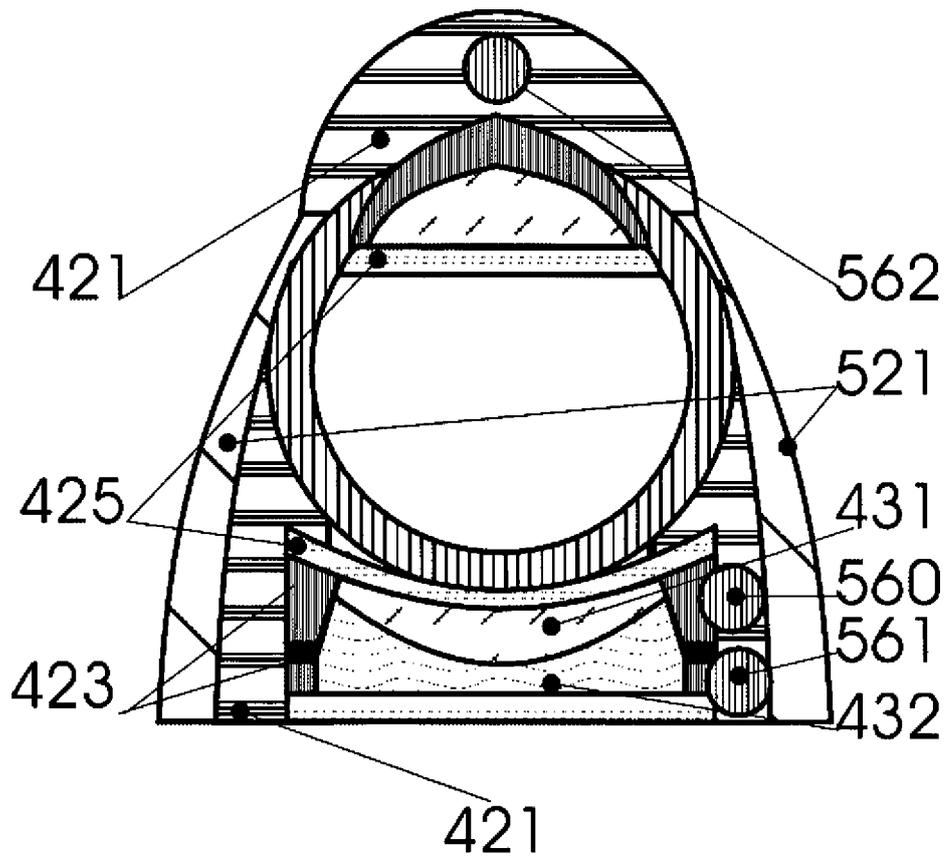


FIG. 15 Schnitt E-E

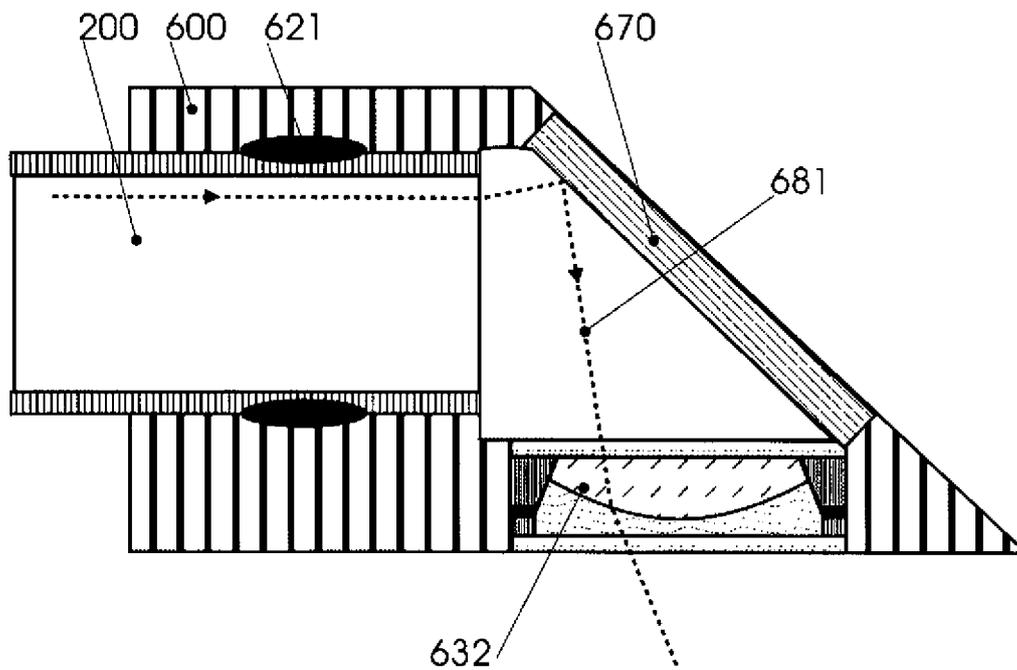


FIG. 16

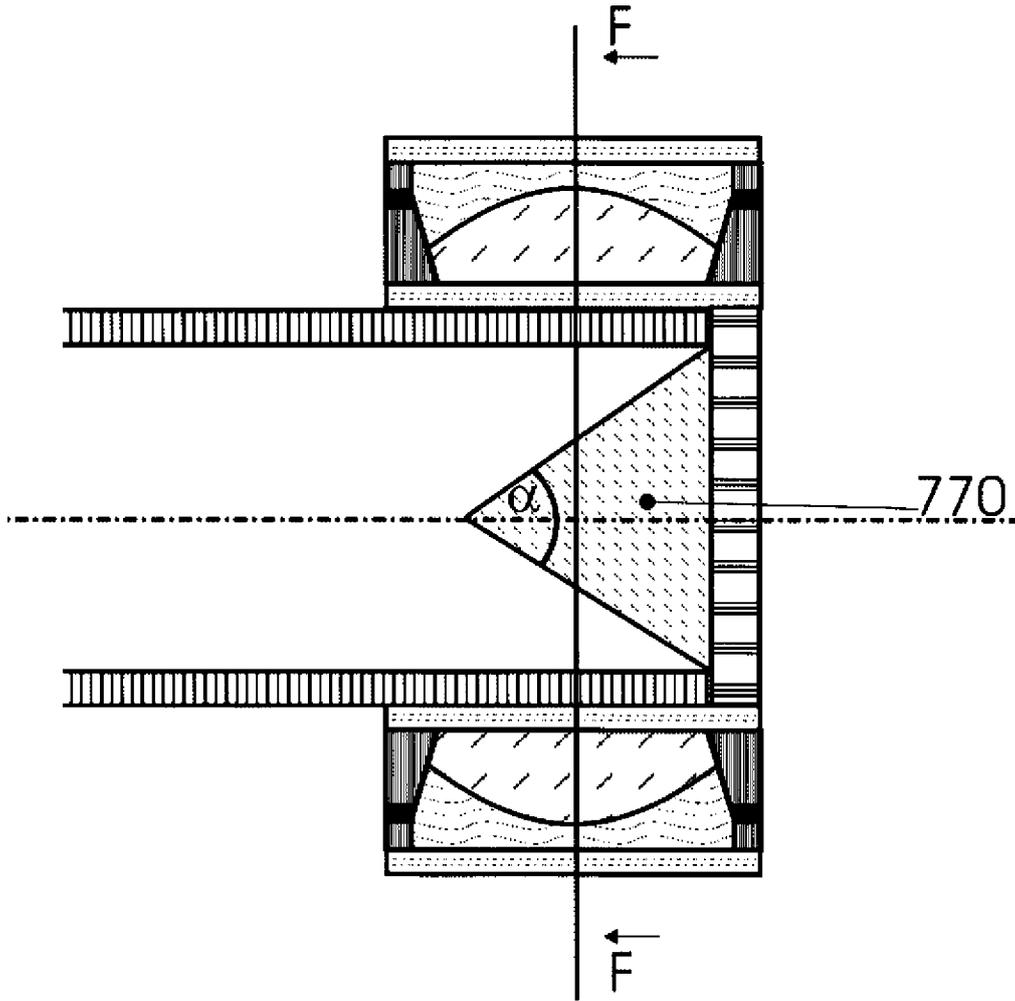


FIG. 17

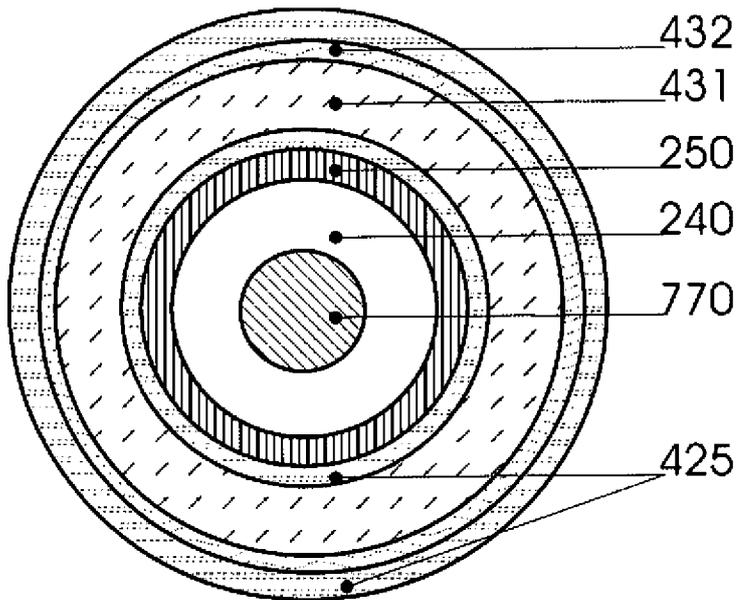


FIG. 18 Schnitt F-F