(19) Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2014 201 504 B4** 2022.11.24

(12) # Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2014 201 504.9**
(22) Anmeldetag: **28.01.2014**
(43) Offenlegungstag: **07.08.2014**
(45) Veröffentlichungstag der Patenterteilung: **24.11.2022**

(51) Int Cl.: ***G02B 6/02*** (2006.01)
G02B 6/14 (2006.01)
H01S 3/067 (2006.01)
H01S 3/0941 (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).

(30) Unionspriorität:
61/757,434 **28.01.2013** **US**

(73) Patentinhaber:
Lumentum Operations LLC (n.d.Ges.d. Staates Delaware), Milpitas, Calif., US

(74) Vertreter:
Murgitroyd & Company, 80636 München, DE

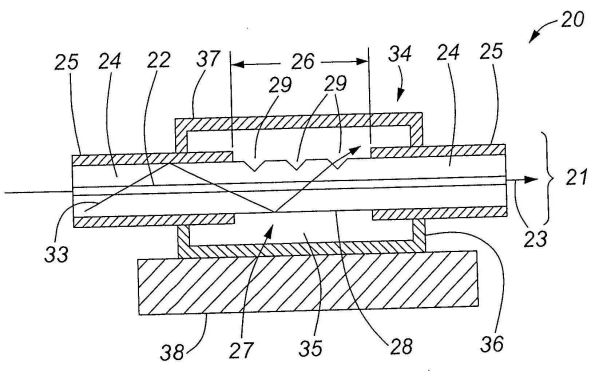
(72) Erfinder:
Hou, Kai-Chung, San Jose, US; Kliner, Dahv, Portland, Oreg., US; Muendel, Martin H., Oakland, Calif., US; Weston, Jeremy, San Jose, US

(56) Ermittelter Stand der Technik:

US	**8 355 608**	**B2**
US	**2010 / 0 097 822**	**A1**
US	**2010 / 0 163 537**	**A1**
US	**5 500 913**	**A**
US	**4 710 605**	**A**
US	**5 432 876**	**A**
JP	**2011- 118 208**	**A**

(54) Bezeichnung: **Mantellicht-Stripper, Verfahren zur Herstellung, optischer Faserverstärker und Faserlaser**

(57) Hauptanspruch: Mantellicht-Stripper (20; 20A; 20B), umfassend:
eine doppelt ummantelte optische Faser (21), welche einen Kern (22), um ein Signallicht zu führen, einen inneren Mantel (24), welcher den Kern (23) umgibt, und
einen äußeren Mantel (25), welcher den inneren Mantel (24) umgibt, aufweist,
wobei die doppelt ummantelten optische Faser (21) einen gestrippten Abschnitt (26) aufweist, wo der äußere Mantel (25) entfernt ist, wodurch ein freiliegender Abschnitt (27) einer Außenfläche des inneren Mantels (24) ausgebildet ist,
wobei der freiliegende Abschnitt (27) mehrere quer verlaufende Aussparungen (29) aufweist, welche entlang der doppelt ummantelten optische Faser (21) angeordnet sind, um einem Licht zu ermöglichen, beim Auftreffen auf die mehreren querverlaufenden Aussparungen (29) dem inneren Mantel (24) zu entkommen,
wobei jede der mehreren querverlaufenden Aussparungen (29) eine Tiefe (d) von nur einem Teil eines Abstands (D) zu dem Faserkern (22) aufweist,
wobei sich die jeweiligen Tiefen (d) der mehreren quer verlaufenden Aussparungen (29) graduell entlang einer Länge des freiliegenden Abschnitts (27) verändern,
die mehreren quer verlaufenden Aussparungen (29) einen Pitch von 1 Aussparung/cm bis zu 1000 Aussparungen/cm aufweisen, und
die mehreren Aussparungen (29) mindestens 10 Aussparungen umfassen,
wobei die Tiefe (d) der Aussparungen (29) zwischen 5 % und 20 % des Durchmessers des inneren Mantels (24) beträgt.



Beschreibung

TECHNISCHES GEBIET

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft optische Faser-Einrichtungen und entsprechende Verfahren, und insbesondere Vorrichtungen und Verfahren, um Mantellicht in Faserverstärkern und Lasern zu entfernen.

HINTERGRUND DER ERFINDUNG

[0002] Faserlaser sind eine wichtige neue Klasse von Lasern, welche signifikante Vorteile bezüglich Effizienz und Anwendbarkeit im Vergleich zu anderen Lasertypen, wie beispielsweise Freiraumlasern, bereitstellen. Mit der Einführung einer doppelt ummantelten Faser („double-clad fiber“ (DCF)) sind die Leistungsniveaus von Faserlasern auf Kilowatt (kW) erhöht worden. Bei einer DCF pflanzt sich Pumplicht in einem relativ großen inneren Mantel, typischerweise mit einem Durchmesser von 125 bis 600 µm, fort, und das Laserlicht pflanzt sich in einem viel kleineren Kern, typischerweise mit einem Durchmesser von 5 bis 100 µm, fort. Der Kern ist mit Ionen eines seltenen Erdenelements, wie beispielsweise Ytterbium, dotiert und ist von dem inneren Mantel umgeben, welcher das Pumplicht führt, damit es in dem dotierten Kern zur Verstärkung des Laserlichts entlang der gesamten Faserlänge absorbiert wird. Idealerweise breitet sich am Ausgang des Lasers kein Licht in dem inneren Mantel aus, und der gesamte ausgegebene Laserstrahl entspringt vom Kern. Bei einigen Faserlaser-Systemen ist es in ähnlicher Weise erwünscht, dass sich nur Kernlicht zwischen Komponenten oder zwischen Verstärkerstufen ausbreitet.

[0003] In der Praxis besteht die Ausgabe eines Faserlasers oder Verstärkers, welcher auf DCF basiert, aus einigem Kernlicht und einigem Mantellicht. Das Mantellicht kann verbleibendes nicht absorbiertes Pumplicht und jedes Laserlicht beinhalten, welches aus dem Kern in den Mantel, beispielsweise aufgrund von Streuung oder spontanen Emissionen in dem Kern, entwichen ist. Das Mantellicht kann optische Strahlen in einem großen Bereich von Abweichungswinkeln und eine Vielzahl von Wellenlängen, abhängig von ihrer/n Quelle(n) und der Konstruktion des Lasersystems, beinhalten. Das Mantellicht ist für eine Anzahl von Anwendungen schädlich und sollte vorzugsweise von der Faser entfernt oder „gestrippt“ werden. Bei Faser-Quellen einer hohen Leistung können mehr als 300 W eines Mantellichts vorhanden sein, und ein sicheres und effizientes Entfernen dieses Lichts stellt eine wichtige technologische Herausforderung dar. Typischerweise wird das gestrippte Mantellicht in Wärme umgesetzt, und es muss Sorge getragen werden, um eine Überhitzung der Fasermäntel oder anderer Komponenten, wie beispielsweise Hülsen, Spleisschutzelementen und Ähnlichem, zu verhindern. Faseroptische Komponenten enthalten häufig Polymere mit einem begrenzten Betriebstemperaturbereich, beispielsweise eine maximale kontinuierliche Betriebstemperatur von weniger als 85°C für einige gewöhnliche faseroptische Polymere. Um eine hohe Licht-Stripeffizienz zu erzielen, muss verhindert werden, dass das gestrippte Mantellicht wieder in den inneren Mantel eindringt. Darüber hinaus sollte die Vorrichtung, welche eingesetzt wird, um das Mantellicht zu strippen, keine optischen Verluste einführen und die Lichtausbreitung in dem Faserkern nicht anderweitig stören.

[0004] Die meisten Mantellicht-Stripper („Cladding Light Strippers“ (CLS))) nach dem Stand der Technik setzen eine dünne Schicht eines Polymers mit einem hohen Index ein, welche auf den Mantel aufgebracht wird, um das Mantellicht „abzuführen“ („unguide“). Beispielsweise offenbaren die US 4,678,273 A, die US 6,865,316 B1, die US 8,027,557 B2 und die US 8,229,260 B2 Vorrichtungen, um Mantellicht zu strippen, welche arbeiten, indem eine Schicht oder Schichten mit dem Mantel gekoppelt werden, welche vom Index mit dem Mantel übereinstimmen oder einen Brechungsindex aufweisen, welcher höher als der Brechungsindex des Mantels ist.

[0005] Mit Bezug zu **Fig. 1A** umfasst ein Mantellicht-Stripper 10A mit übereinstimmendem Index eine optische Faser 11 mit einem Kern 19, einen Mantel 12 und eine Beschichtung 13, welche von dem Mantel 12 in einem mittleren Bereich 14 der optischen Faser 11 abgelöst ist. Eine Polymerschicht 15 mit einem hohen Index wird in dem mittleren Bereich 14 auf den Mantel 12 aufgebracht. Im Betrieb wird das Mantellicht 16 durch den Mantel 12 geführt. Wenn das Mantellicht 16 in die Polymerschicht 15 mit dem hohen Index in dem mittleren Bereich 14 eingekoppelt wird, wird das Mantellicht 16 aus dem Mantel 12 ausgekoppelt, wie es in **Fig. 1A** dargestellt ist.

[0006] Der Mantellicht-Stripper 10A mit übereinstimmendem Index kann bisweilen eine gute Effizienz beim Strippen von Mantellicht erzielen, jedoch ist seine Skalierbarkeit bezüglich einer optischen Leistung durch die höchste Temperatur, welche die Polymerschicht 15 mit dem hohen Index aushalten kann, die typischerweise in dem Bereich von 100°C bis 150°C liegt, beschränkt. Eine Erhöhung der Lichtleistung unter Verwendung von Schichten mit einem hohen Index oder einem übereinstimmenden Index ist eine herausfordernde und einschränkende Aufgabe, da ein Einsatz eines Polymers mit einem hohen Index, um das Licht zu strippen, keine oder nur eine geringe Fähigkeit aufweist, eine Striprate zu steuern. Daher ist die Möglichkeit des Mantellicht-Strippers 10A mit übereinstimmendem Index,

eine gewisse Leistung zu handhaben, durch eine lokale Erwärmung beschränkt.

[0007] Bei mehreren Systemen nach dem Stand der Technik wird der Brechungsindex oder die Dicke des Polymers ausgewählt, um eine gleichmäßigere Temperaturverteilung zu ermöglichen. Beispielsweise offenbart die US 7,839,901 B2 eine Polymerbeschichtung mit einem Brechungsindex, welcher mit der Temperatur abnimmt. Das Polymer stimmt mit dem Index eines Mantels, auf welchem es aufgetragen ist, überein. Wenn das Polymer aufgrund einer Absorption von abgegebenem Mantellicht überhitzt wird, nimmt sein Brechungsindex ab, wodurch die lokale Abgabe von Licht von dem Mantel und die sich ergebende Erwärmung eingeschränkt werden, wodurch das Mantellicht an einer Stelle stromabwärts des überhitzten Punktes abgegeben wird. Daher ist die Wärmeabgabe gleichmäßiger.

[0008] Optische und thermische Eigenschaften von polymerbasierten Mantel-Strippern, wie beispielsweise die Absorption von Infrarotstrahlung, spektrale Abhängigkeiten, eine Aufheizungsrate und ein Schwellenwert einer thermischen Beschädigung, tragen zu einer Beschränkung der maximalen Mantellicht-Leistung, welche abgeführt werden kann, auf ungefähr 100 W bei. Bei einem praktikablen Faserlasersystem umfasst das Mantellicht gewöhnlicherweise ein restliches Pumplicht einer hohen numerischen Apertur (NA) und ein gestreutes Kernlicht einer geringen NA. Das Licht der geringen NA ist schwierig mit polymerbasierten Mantellicht-Strippern zu entfernen, da die Striprate dieser Stripper sehr empfindlich auf die NA des Lichtes reagiert. Licht einer hohen NA neigt im Vergleich zu einem Licht einer niedrigen NA dazu, in viel kürzeren Entfernungen auszutreten. Die Hitzebelastung von polymerbasierten Mantellicht-Strippern ist sehr ungleichmäßig, und es muss eine zusätzliche Länge verwendet werden, um eine erwünschte Striprate für das Mantellicht einer geringen NA zu erzielen.

[0009] Die US 2012 / 0070115 A1 und die WO 2012 / 088267 A2 offenbaren optische Fasern mit einer aufgerauten Außenfläche des Mantels, um das Licht aus dem Mantel zu streuen. Beispielsweise mit Bezug auf **Fig. 1B** weist ein Mantellicht-Stripper 10B mit einer aufgerauten Oberfläche die optische Faser 11 mit dem Kern 19, den Mantel 12 und die Beschichtung 13, welche in dem mittleren Bereich 14 der optischen Faser 11 von dem Mantel abgelöst ist, auf. Eine Außenfläche 18 des Mantels 12 ist in dem freiliegenden mittleren Bereich 14 aufgeraut. Im Betrieb wird das Mantellicht 16 durch den Mantel 12 geführt. Wenn das Mantellicht 16 in die aufgerauten Außenfläche 18 eingekoppelt wird, wird das Mantellicht 16 aus dem Mantel 12 gestreut, wie es in **Fig. 1B** dargestellt ist.

[0010] Ein Vorteil dieses Ansatzes ist, dass der Mantel-Stripper frei von Polymeren sein kann. Nachteiligerweise wird das meiste Mantellicht in dem stromaufwärtigen Abschnitt des Mantel-Strippers abgeführt, wobei eine ungleichmäßige Temperaturverteilung in dem Stripper erzeugt wird. Darüber hinaus kann ein Aufrauen der Oberfläche Mikro-Risse erzeugen, welche sich mit der Zeit ausbreiten und einen Ausfall der Faser verursachen können.

[0011] Aus der JP 2011-118 208 A ist eine optische Faser und ein Verfahren zu ihrer Herstellung bekannt. Es wird ein Verfahren zum Bearbeiten der optischen Faser bereitgestellt, bei dem eine Ringnut mittels eines Lasers in den Mantel der optischen eingebracht wird.

[0012] Die US 2010 / 0 163 537 A1 betrifft eine Laserbearbeitungsvorrichtung und ein Verfahren zur Bearbeitung von Werkstücken unter Verwendung eines von einer optischen Faser übertragenen Laserstrahls.

[0013] Die US 5 500 913 A bezieht sich auf eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Herstellung von gerichteten optischen Abgriffen.

[0014] Die US 2010 / 97 822 A1 bezieht sich auf Vorrichtungen zur Lichtübertragung, wie sie in der photodynamischen Therapie verwendet werden, um Lichtenergie an eine Behandlungsstelle abzugeben.

[0015] Die US 4 710 605 A bezieht sich auf die Mikrobearbeitung von Gegenständen mit kleinen Abmessungen, insbesondere von Glasfasern, die als Lichtleiter verwendet werden.

[0016] Die US 8 355 608 B2 bezieht sich auf Lichtwellenleiter und insbesondere auf die Entfernung von Mantellicht aus einem Wellenleiter sowie auf Verfahren und Vorrichtungen zur Inline-Entfernung und Ableitung von Mantellicht aus einer optischen Faser.

[0017] Die US 5 432 876 A bezieht sich auf optische Fasern, die mit einer Reihe von optischen Elementen mit kontrollierter Morphologie, Muster und Abstand versehen sind, die als Beleuchtungsmittel nützlich sind und auf Beleuchtungsvorrichtungen, die solche optischen Fasern enthalten.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0018] Es ist ein Ziel der Erfindung, einen herstellbaren, anpassbaren Mantellicht-Stripper bereitzustellen, welcher für Faserlaser mit einer hohen Leistung geeignet ist. Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch einen Mantellicht-Stripper nach Anspruch 1 und ein Verfahren zum Ausbilden eines solchen Mantellicht-Strippers nach dem nebengeordneten

Verfahrensanspruch gelöst. Die abhängigen Ansprüche definieren bevorzugte und vorteilhafte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung.

[0019] Ein erfindungsgemäßer Mantel-Stripper umfasst mehrere quer verlaufende Aussparungen oder Vertiefungen in einer Außenfläche eines inneren Mantels einer doppelt ummantelten optischen Faser. Vorteilhafterweise kann eine Position und Ausrichtung der Aussparungen ausgewählt werden, um eine Abgabe von Mantellicht entlang des Mantellicht-Strippers gleichmäßig zu verteilen, wobei eine gleichmäßigere Temperaturverteilung aufgrund des abgegebenen Mantellichts ermöglicht wird. Darüber hinaus kann ein Mantel-Stripper polymerfrei hergestellt werden, wodurch eine Skalierung bis zu hohen optischen Leistungsniveaus ermöglicht wird.

[0020] Erfindungsgemäß wird ein Mantellicht-Stripper bereitgestellt, welcher umfasst:

eine doppelt ummantelte optische Faser, welche einen Kern, um ein Signallicht zu führen, einen inneren Mantel, welcher den Kern umgibt, und einen äußeren Mantel,

welcher den inneren Mantel umgibt, aufweist,

wobei die optische Faser einen gestrippten Abschnitt aufweist, wo der äußere Mantel entfernt ist, wobei ein freiliegender Abschnitt einer Außenfläche des inneren Mantels ausgebildet wird, wobei der freiliegende Abschnitt mehrere quer verlaufende Aussparungen aufweist, welche entlang der Faser angeordnet sind, um zu ermöglichen, das Licht aus dem inneren Mantel entkommt, indem es auf die Aussparungen auftrifft, wobei jede der mehreren Aussparungen eine Tiefe von nur einem Teil einer Entfernung zu dem Faserkern aufweist.

[0021] Der Mantellicht-Stripper kann eine undurchsichtige Abschirmung oder eine Wärmesenke aufweisen, welche benachbart des gestrippten Abschnitts des äußeren Mantels angeordnet ist, um Licht, welches dem inneren Mantel entkommen ist, zu absorbieren, und um Wärme, welche durch das absorbierte Licht erzeugt wird, abzuführen.

[0022] Erfindungsgemäß wird darüber hinaus ein optischer Faserverstärker bereitgestellt, welcher umfasst den Mantellicht-Stripper, einen Abschnitt einer doppelt ummantelten optischen Faser des Verstärkers, welche mit der doppelt ummantelten optischen Faser des Mantellicht-Strippers an einem ersten Ende des Abschnitts der doppelt ummantelten optischen Faser des Verstärkers gekoppelt ist, und eine Pumpdiode, welche optisch mit dem inneren Mantel an einem zweiten gegenüberliegenden Ende des Abschnitts der doppelt ummantelten optischen Faser des Verstärkers gekoppelt ist, um das Pumplicht zur Weiterführung von dem zweiten Ende zu dem ersten Ende des Abschnitts der doppelt ummantelten optischen Faser des Verstärkers bereitzustellen.

[0023] Gemäß einem anderen Aspekt der vorliegenden Erfindung wird ein Faserlaser bereitgestellt, welcher den optischen Faserverstärker, der den Mantellicht-Stripper aufweist, und einen Oszillator, welcher optisch mit dem optischen Faserverstärker gekoppelt ist, umfasst.

[0024] Gemäß einem noch anderen Aspekt der Erfindung wird darüber hinaus ein Verfahren zum Ausbilden des Mantellicht-Strippers nach Anspruch 1 bereitgestellt, wobei das Verfahren umfasst:

a) Entfernen eines Abschnitts des äußeren Mantels, wobei ein freiliegender Abschnitt des inneren Mantels freigelegt wird;

b) Richten eines Laserstrahls auf die Außenfläche des inneren Mantels in dem freiliegenden Abschnitt, um den inneren Mantel lokal zu verdampfen und zu entfernen, um eine quer verlaufende Aussparung in dem inneren Mantel auszubilden; und

c) Wiederholen des Schritts b) entsprechend einer Anzahl an verschiedenen Stellen entlang des freiliegenden Abschnitts.

Figurenliste

[0025] Im Folgenden werden beispielhafte Ausführungsformen mit Bezug zu den Figuren beschrieben.

Fig. 1A und **Fig. 1B** sind seitliche Querschnittsansichten eines Mantellicht-Strippers aus dem Stand der Technik mit übereinstimmendem Index bzw. aufgerauter Oberfläche;

Fig. 2A ist eine seitliche Querschnittsansicht eines Mantellicht-Strippers gemäß einer erfindungsgemäßen Ausführungsform;

Fig. 2B ist eine vergrößerte Darstellung der **Fig. 2A**, wobei ein Mantellicht dargestellt wird, welches an einer Oberfläche einer Aussparung reflektiert und gebrochen wird;

Fig. 3 ist eine dreidimensionale Explosionsansicht einer bloßen Vertiefung des Mantellicht-Strippers der **Fig. 2A**;

Fig. 4A, **Fig. 4B**, **Fig. 4C** und **Fig. 4D** sind Querschnittsansichten einer doppelt ummantelten optischen Faser, welche Aussparungen auf einer, zwei, drei bzw. vier Seiten aufweist;

Fig. 5 ist eine grafische Darstellung eines Experiments zur Stripeffizienz gegenüber der Anzahl von Aussparungen für zweiseitige und dreiseitige Aussparungen;

Fig. 6 ist eine grafische Darstellung eines Experiments zur Stripeffizienz gegenüber einer Aussparungstiefe;

Fig. 7 ist eine grafische Darstellung eines Experiments zur Stripeffizienz gegenüber eines Aussparungsabstands;

Fig. 8 ist eine grafische Darstellung eines Experiments zur Stripeffizienz gegenüber einem Biegeradius der Faser;

Fig. 9 ist eine grafische Darstellung eines Experiments zur optischen Übertragung eines Lichts einer niedrigen NA und einer hohen NA als Funktion des Biegeradius;

Fig. 10 ist eine berechnete grafische Darstellung einer Übertragungsleistung gegenüber einer Länge des Mantellicht-Strippers für gleichmäßig verteilte Aussparungen;

Fig. 11 ist eine berechnete grafische Darstellung einer Stripeffizienz gegenüber einer Länge eines Mantellicht-Strippers;

Fig. 12 und **Fig. 13** sind seitliche Querschnittsansichten eines erfindungsgemäßen Mantellicht-Strippers, wobei ein Aussparungsabstand bzw. eine Aussparungstiefe variiert wird;

Fig. 14A ist eine gemessene Verteilung einer Oberflächentemperatur eines Prototyps eines Mantelmoden-Strippers mit einem konstanten Aussparungsabstand und einer konstanten Aussparungsvertiefung;

Fig. 14B ist eine gemessene Verteilung einer Oberflächentemperatur eines Prototyps eines Mantelmoden-Strippers mit einem variierenden Aussparungsabstand und einer variierenden Aussparungsvertiefung;

Fig. 15 ist eine schematische Darstellung eines optischen Faserverstärkers mit einem erfindungsgemäßen Mantellicht-Stripper;

Fig. 16 ist eine schematische Darstellung eines Faserlasers mit dem optischen Faserverstärker der **Fig. 15**;

Fig. 17 ist eine schematische Seitenansicht eines erfindungsgemäßen Systems, um Aussparungen auf einer optischen Faser auszubilden; und

Fig. 18 ist ein Flussplan eines Verfahrens zur Herstellung des Mantelmoden-Strippers der **Fig. 2A**, wobei das System der **Fig. 17** eingesetzt wird.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[0026] Während die vorliegende Lehre im Zusammenhang mit verschiedenen Ausführungsformen und Beispielen beschrieben wird, ist es nicht beabsichtigt, dass die vorliegende Lehre auf solche Ausführungsformen beschränkt ist. Im Gegensatz umfasst die vorliegende Lehre verschiedene Alternativen und Äquivalente, wie sie dem Fachmann bekannt sind.

[0027] Mit Bezug auf **Fig. 2A** und **Fig. 2B** umfasst ein Mantellicht-Stripper 20 eine doppelt ummantelte optische Faser 21 mit einem Kern 22, um ein Signallicht 23 zu führen, einen inneren Mantel 24, welcher den Kern 22 umgibt, und einen äußeren Mantel 25, welcher den inneren Mantel 24 umgibt. Die optische Faser 21 umfasst einen gestrippten Abschnitt 26, worin der äußere Mantel 25 entfernt ist, wobei ein freiliegender Abschnitt 27 einer Außenfläche 28 des inneren Mantels 24 ausgebildet wird. Daher ist bei dem gestrippten Abschnitt 26 der äußere Mantel 25 nicht vorhanden. Der freiliegende Abschnitt 27 umfasst mehrere quer verlaufende Aussparungen 29, welche entlang der Faser 21 in dem freiliegenden Abschnitt 27 in der Außenfläche 28 des inneren Mantels 24 vorhanden sind, um Mantellicht-Anteilen 30A, 30B (**Fig. 2B**) zu ermöglichen, dem inneren Mantel 24 zu entkommen, indem sie auf die Aussparungen 29 auftreffen, indem sie durch eine Seitenfläche 31 der Aussparung gebrochen werden (Lichtanteil 30A) oder von der Seitenfläche 31 reflektiert werden (Lichtanteil 30B). Dabei ist der Begriff „quer“ nicht darauf beschränkt, dass die Aussparungen 29 senkrecht zu der optischen Faser 21 verlaufen, d. h. die Aussparungen 29 können einen Winkel bezüglich der optischen Faser 21 aufweisen, während sie dennoch „quer“ verlaufen. Jede der mehreren Aussparungen 29. weist eine Breite w und eine Tiefe d mit nur einem Teil eines Abstands D (**Fig. 2B**) zu dem Faserkern 22 auf. Mit anderen Worten ist jede Aussparung 29 von dem Faserkern 22 beabstandet, wobei der Faserkern 22 nicht berührt wird oder sie sich nicht in den Faserkern 22 erstreckt wird. Zumindest 10 Aussparungen 29 und bevorzugt mindestens 30 Aussparungen 29 können vorhanden sein. Die Tiefe der Aussparungen 29 kann beispielsweise zwischen 5% und 20% des Durchmessers des inneren Mantels oder 20 μm bis 80 μm betragen.

[0028] Bei der in **Fig. 2A** dargestellten Ausführungsform umfasst der Mantellicht-Stripper 20 eine optionale Wärmesenke 34, welche neben dem gestrippten Abschnitt 26 des äußeren Mantels 25 angeordnet ist, um die Lichtanteile 30A, 30B zu absorbieren, welche dem inneren Mantel 24 entkommen, und um Wärme, welche von absorbierten Lichtanteilen 30A, 30B erzeugt wird, abzuführen. Daher bildet die Wärmesenke 34 einen Hohlraum 35 um den gestrippten Abschnitt 26, um die Lichtanteile 30A, 30B aufzufangen, welche dem inneren Mantel 24 entkommen sind. Vorzugsweise weist der Hohlraum 35 einen absorbierenden Abschnitt 36 und einen reflektierenden Abschnitt 37 auf, um entkom-

mende Lichtanteile 30A, 30B zu dem absorbierenden Abschnitt 36 zu leiten. Der absorbierende Abschnitt 36 kann thermisch mit einer äußeren Wärmesenke 38 verbunden sein. Die Wärmesenke 34 kann auch aus einem anderen Material mit einer hohen Wärmeleitfähigkeit von mindestens 10 W/(m.K), wie beispielsweise Aluminium oder Kupfer, hergestellt sein.

[0029] Ein Prototyp der Wärmesenke 34 ist in **Fig. 3** dargestellt. Der absorbierende Abschnitt 36 und der reflektierende Abschnitt 37 der Wärmesenke 34 der **Fig. 3** sind aus Aluminiumklötzen hergestellt. Der Hohlraum 35 ist in den absorbierenden Abschnitt 36 eingearbeitet. Vertiefungen 39 sind in den absorbierenden Abschnitt 36 eingearbeitet, um die optische Faser 21 zu führen und zu halten. Die Vertiefungen 39 stellen sicher, dass die optische Faser 21 in der Wärmesenke 34 nur leicht, bevorzugt mit einem Biegeradius zwischen 50 cm und 200 cm, gebogen wird. Das Biegen wird aus zwei Gründen durchgeführt: erstens um thermisch induzierte Belastungen in der Faser 21 zu vermindern, und zweitens um eine Striprate zu verbessern, wie es im Folgenden erläutert wird. Der absorbierende Abschnitt 36 ist schwarz eloxiert, während der reflektierende Abschnitt 37 poliert oder weiß eloxiert ist. Die Abmessungen der Wärmesenke 34 der **Fig. 3** betragen 220 mm x 32 mm x 11 mm. Vorzugsweise können zumindest 40 mm und besser mindestens 160 mm des äußeren Mantels 25 der Faser 21 gestrippt werden, um den gestrippten Abschnitt 26 auszubilden. Wenn 160 mm des äußeren Mantels 25 entfernt werden, können mindestens 140 mm der Außenfläche 28 des inneren Mantels 24 zum Ausbilden der Aussparungen 29 ausgebildet werden. Die Anzahl der Aussparungen 29 pro Längeneinheit, was hier als „Abstand“ (engl.: Pitch) bezeichnet wird, kann von 1 Aussparung/cm bis 1000 Aussparungen/cm und vorzugsweise von 10 Aussparungen/cm bis 500 Aussparungen/cm variieren.

[0030] Die optische Faser 21 kann entweder eine aktive Faser, welche eine Verstärkung bei Faserlasern und optischen Faserverstärkern bereitstellt, oder eine passive Faser, z. B. eine Ausgangsfaser, welche mit einer aktiven Faser oder einer Leistungszuführungs-Faser verbunden ist, sein, welche mit jedem Laser eingesetzt werden kann. Bei der aktiven optischen Faser 21 umfasst der Kern 22 eine Dotiersubstanz, z. B. Ionen seltener Erden, wie beispielsweise Ytterbium- und/oder Erbium-Ionen, um das Signallicht 23 zu verstärken, wenn es durch Pumplicht 33 gepumpt wird (**Fig. 2A** und **Fig. 2B**), welches durch den inneren Mantel 24 geführt wird. Im Betrieb wird die optische Faser 21 gepumpt, indem eine Pumplichtquelle, in **Fig. 2A** und **Fig. 2B** nicht dargestellt, mit dem inneren Mantel 24 gekoppelt wird. Das Pumplicht 33 wird größtenteils in dem Kern 22 durch die Ionen seltener Erden absorbiert. Die Ionen seltener Erden verstärken das Signallicht 23, welches sich in dem Kern 22 ausbreitet. Gewöhnlicherweise wird ein Anteil des Pumplichtes 33, welches hier als „restliches Pumplicht“ bezeichnet wird, nicht absorbiert. Die Lichtanteile 30A und 30B stammen meist von dem restlichen Pumplicht 33; sie können jedoch auch von dem Signallicht 23 stammen, welches von dem Kern 22 gestreut oder spontan emittiert wird. Typischerweise ist das restliche Pumplicht 33 ein Licht einer hohen NA und das gestreute Signallicht 23 ist ein Licht einer niedrigen NA. Der Anteil des Lichts, welches aus dem Mantel entkommt, hängt von der Divergenz des Mantellichts 33 und der Tiefe der Aussparungen 29 ab. Bei Licht einer niedrigen NA kann ein Anteil des entkommenden Lichts wieder in den inneren Mantel 24 eindringen. Die Striprate des Mantellichts kann eingestellt werden, indem ein Ausmaß der Aussparungen 29, ein Einfallwinkel und die Geometrie der Aussparungen 29, der Abstand der Aussparungen 29 und einige andere Parameter eingestellt werden, wie es im Folgenden diskutiert wird.

[0031] Die Aussparungen 29 können auf mehreren Seiten der optischen Faser 21 ausgebildet sein. Mit Bezug auf **Fig. 4A** bis **Fig. 4D** und mit weiterem Bezug auf **Fig. 2A** können die Aussparungen 29 auf einer Seite (**Fig. 4A**), auf zwei Seiten (**Fig. 4B**), auf drei Seiten (**Fig. 4C**), auf vier Seiten (**Fig. 4D**) usw., beabstandet um einen Umfang des freiliegenden Abschnitts 27 ausgebildet sein. Die Aussparungen 29 können sowohl entlang der Länge des freiliegenden Abschnitts 27 und um den Umfang des freiliegenden Abschnitts 27 herum beabstandet sein. Darüber hinaus können die Aussparungen 29 in einem spiralförmigen Muster um den Kern 22 der doppelt ummantelten optischen Faser 21 herum angeordnet sein.

[0032] Für Faserlaser-Anwendungen mit einer hohen Leistung ist es äußerst wünschenswert, eine umfassende Kontrolle der Mantellicht-Striprate entlang des Mantellicht-Strippers 20 zu haben. Die „Striprate“ ist als ein optischer Leistungsverlust des Mantellichts 33 pro Längeneinheit des inneren Mantels 24 definiert, wobei der optische Leistungsverlust beispielsweise in dB pro Längeneinheit in mm bestimmt wird. Die erwünschte Striprate wird abhängig von Anforderungen einer thermischen Handhabung, einer Längenbegrenzung des Mantelmoden-Strippers 20 und von anderen Begrenzungen von Materialeigenschaften gewählt.

[0033] Die Striprate kann durch eine Anzahl von Seiten der optischen Faser 21, wo die Aussparungen 29 ausgebildet sind, verändert werden. Die Striprate wird typischerweise höher, wenn die Anzahl der Seiten ansteigt, da mehr Austrittspunkte für den Mantel 24 bereitgestellt werden, um Licht hinaus zu streuen.

Die Striprate steigt auch mit der Dichte und der Tiefe d der Aussparungen 29 an.

[0034] Die Gesamtzahl der Aussparungen beeinflusst die Stripeffizienz stark. Die „Stripeffizienz“ ist hier als ein gesamter optischer Leistungsverlust nach einem Verlaufen durch den Mantellicht-Stripper 20 definiert. Die Stripeffizienz ist unter Verwendung von Prototypen des Mantelmoden-Strippers 20 mit verschiedenen Anzahlen von Aussparungen 29 und Anzahlen von Seiten, auf denen Aussparungen 29 angeordnet sind, gemessen worden. Mit Bezug zu **Fig. 5** sind 36 µm tiefe Aussparungen 29 (d = 36 µm) auf einer doppelt ummantelten Quarzglas-Faser ausgebildet, welche 400 µm im Durchmesser misst, wenn der äußere (polymere) Mantel abgelöst wurde. Die Stripeffizienz steigt im Allgemeinen an, wenn die Gesamtzahl der Aussparungen 29 ansteigt. Die Stripeffizienz, welche in **Fig. 5** dargestellt ist, ist für Aussparungen auf drei Seiten (**Fig. 4C**) im Vergleich zu Aussparungen auf zwei Seiten (**Fig. 4B**) um ungefähr 3-4 dB höher.

[0035] Die Striprate und Stripeffizienz sind auch von der Geometrie, beispielsweise von der Breite w, der Tiefe d (**Fig. 2B**) der Aussparungen, abhängig, wodurch ein anderer technischer Freiheitsgrad bereitgestellt wird, um die Stripeffizienz zu steuern. Die Tiefe d der Aussparungen 29 wird gewöhnlicherweise zwischen 5% und 20% des Durchmessers der Faser 21 gehalten, um die Zugfestigkeit der Faser 21 beizubehalten und Microbiegungen auf dem Kern 22 aufgrund der Aussparungen 29 zu verringern. Mit Bezug zu **Fig. 6** ist die Stripeffizienz als eine Funktion der Tiefe d der Aussparungen 29 gemessen worden, während andere Parameter, wie beispielsweise die Anzahl der Seiten 31, die Anzahl der Aussparungen 29 und ein Abstand zwischen den Aussparungen 29 gleich gehalten wurden. Man sieht, dass sich die Stripeffizienz über 7 DB verändert, wenn die Tiefe d von 30 µm bis 80 µm ansteigt.

[0036] Eine andere Möglichkeit, die Striprate und/oder die Stripeffizienz zu optimieren, ist, die Entfernung zwischen benachbarten Aussparungen, welche hier als „Abstand“ bezeichnet wird, zu ändern, um eine Ausbreitung von nicht ausgetretenem Licht zu ermöglichen, um die nächsten Gruppen von Aussparungen 29 zu erreichen. Mit Bezug zu **Fig. 7** wird die Stripeffizienz als eine Funktion des Abstandsparameters dargestellt. Die Stripeffizienz verändert sich um ungefähr 9 dB, wenn sich der Abstand von 400 bis 1800 µm ändert.

[0037] Die Striprate und Stripeffizienz sind auch bezüglich einer Biegung des freiliegenden Abschnitts 27 des Mantelmoden-Strippers 20 empfindlich. Wenn die Biegung des freiliegenden Abschnitts 27 ansteigt, steigt der Einfallswinkel relativ zu der Oberfläche der Aussparungen 29 an, wodurch die Menge an Licht verringert wird, welche zurück in den inneren Mantel 24 eingekoppelt wird. Daher steigt die Menge an Licht, welche von jeweiligen Aussparungen 29 austritt, speziell für Licht mit einer geringen NA, an, wie es in **Fig. 8** dargestellt ist. Die Eigenschaft des Mantellicht-Strippers 20, Licht mit einer geringen NA zu entfernen, ist sehr wichtig, da es den Stripraten-Unterschied für Licht mit einer geringen NA und einer hohen NA verringert, was es einfacher macht, die Wärmeverteilung in der Wärmesenke 34 zu kontrollieren. Ein Beispiel eines Einflusses der Biegung ist in **Fig. 9** dargestellt, wobei gezeigt wird, dass der Unterschied in der Stripeffizienz für Licht einer niedrigen NA und einer hohen NA stark reduziert wird, wenn die optische Faser 21 moderat mit einem Radius von 35 cm gebogen wird.

[0038] Die Abhängigkeit der Striprate und der Stripeffizienz von der Anzahl und der Tiefe d der Aussparungen, dem Aussparungsabstand und dem Biegeradius der optischen Faser 21 ermöglicht es, verschiedenen Anforderungen des Mantellicht-Strippens bei speziellen Lasersystemen Rechnung zu tragen, wie beispielsweise einer Möglichkeit, Leistung zu handhaben, Kühlanforderungen, Materialeinschränkungen, einer Anforderung an einen Stellplatz („Footprint“) der Vorrichtung und anderen Einschränkungen und Anforderungen. Dementsprechend ist eine höchst flexible Steuerung der Wärmeverteilung ein Vorteil des Mantellicht-Strippers 20. Im Allgemeinen wird bevorzugt, eine sehr geringe Striprate am Anfang oder stromaufwärts des freiliegenden Abschnitts 26 zu haben, um die optische Leistungsdichte der Lichtanteile 30A, 30B, welche von dem inneren Mantel 24 austreten, zu begrenzen. Stromabwärts des gestrippten Abschnitts 26 ist es erwünscht, die Striprate zu erhöhen, um das restliche Mantelmoden-Licht zu entfernen.

[0039] Die Menge an Wärme, welche an einem gegebenen Punkt des inneren Mantels 24 entweicht, kann durch die verbleibende Mantellicht-Leistung und die Striprate berechnet werden. Für den Fall, dass die Striprate entlang der Länge einer optischen Faser konstant ist, wie bei den meisten herkömmlichen Mantellicht-Strippern, welche Polymere eines hohen Index verwenden, ist die Wärmebelastung am Anfang der Vorrichtung viel höher und nimmt exponentiell entlang der Vorrichtung ab. Wenn die erwünschte Strip-Leistung ansteigt, verursacht diese Eigenschaft hohe Temperaturen am Anfang der Vorrichtung, wodurch der Umfang der Gesamtleistung, welche die Vorrichtung abgeben kann, begrenzt wird.

[0040] Um die Wärmeabgabe bei dem Mantelmoden-Stripper 20 zu optimieren, muss die erwünschte abzugebende Leistung pro Längeneinheit bekannt sein, welche durch den Umfang der gesamten Mantellicht-Leistung, den angestrebten Stellplatz der Vor-

richtung oder die Länge des Mantelmoden-Strippers 20 oder eine maximale Wärmedichte, welche die Wärmesenke 34 verarbeiten kann, vorgeschrieben wird.

[0041] Man kann dann die erwünschte lokale Striprate entlang des Mantelmoden-Strippers 20 berechnen. Abhängig von der Striprate pro Aussparung 29 als Funktion einer Größe der Aussparung 29 , einem Abstand und einer Anzahl der Seiten bei den Aussparungen 29 kann man den Abstand oder die Größe einstellen, um die erwünschte Striprate zu erzielen.

[0042] Nun wird mit Bezug zu **Fig. 10**, **Fig. 11**, **Fig. 12** und **Fig. 13** und mit weiterem Bezug zu **Fig. 2A** ein Beispiel einer Mantellicht-Leistung, welche in einer konstanten Striprate abgegeben wird, in **Fig. 10** dargestellt. Die übertragene optische Leistung nimmt nahezu linear mit der Länge entlang des Mantellicht-Strippers 20 (**Fig. 2A**) ab. Um die Wärmeverteilung entlang des Mantelmoden-Strippers 20 auszugleichen, muss die Striprate am Anfang des gestrippten Abschnitts 26 geringer sein, wie es in **Fig. 11** dargestellt ist. Um die Striprate am Anfang des gestrippten Abschnitts 26 zu verringern, muss entweder die Aussparungsdichte am Anfang des gestrippten Abschnitts 26 klein sein, wie es bei einem Mantelmoden-Stripper 20A der **Fig. 12** dargestellt ist, oder die Tiefe d der Aussparung muss am Anfang des gestrippten Abschnitts 26 gering sein, wie es bei einem Mantelmoden-Stripper 20B der **Fig. 13** dargestellt ist; oder sowohl die Aussparungsdichte als auch die Tiefe d der Aussparung muss am Anfang des gestrippten Abschnitts 26 gering sein. Vorzugsweise wird der Aussparungsabstand des Mantellicht-Strippers 20A der **Fig. 12** allmählich von 2 Aussparungen/cm bis zu 200 Aussparungen/cm und bevorzugt von 5 Aussparungen/cm bis zu 20 Aussparungen/cm von links nach rechts in **Fig. 12** und **Fig. 13** erhöht.

[0043] Zwei Prototypen eines Mantelmoden-Strippers wurden gebaut, um die Eigenschaft des Mantelmoden-Strippers 20 der **Fig. 2A**, **Fig. 20A** der **Fig. 12** und **Fig. 20B** der **Fig. 13** zu demonstrieren, die Wärmeverteilung aufgrund des gestrippten Mantellichts 30A, 30B auszugleichen. Mit Bezug zu **Fig. 14A** wird eine Wärmeverteilung in der Wärmesenke 34 bei einer konstanten Entfernung (Abstand) der Aussparungen 29 dargestellt. Man kann sehen, dass die meiste Wärme am Anfang auf der linken Seite der Wärmesenke 34 abgegeben wird. Diese Art einer Wärmeverteilung ist bei Mantelmoden-Strippern nach dem Stand der Technik bekannt, wobei die Striprate entlang der Vorrichtung konstant ist. Mit Bezug zu **Fig. 14B** wird eine Wärmeverteilung in der Wärmesenke 34 bei einer sich ändernden Tiefe d und einer sich ändernden Entfernung (Abstand) der Aussparungen 29 dargestellt. Das Temperaturprofil der Wärmesenke 34 ist gleichmäßiger, was eine verteilte Wärmebelastung entlang der Wärmesenke 34 anzeigt. Der Vorteil der sich ändernden Größe und des sich ändernden Abstands der Aussparungen 29 kann durch einen Temperaturanstieg der Wärmesenke 34 quantifiziert werden. Für die Prototyp-Vorrichtung der **Fig. 14B** liegt der Temperaturanstieg in der Wärmesenke nur bei 34°C für die gesamte gestrippte Leistung von ungefähr 450 W, was nur der Hälfte des Temperaturanstiegs bei der nicht verteilten Wärmebelastung des Mantelmoden-Strippens (**Fig. 14A**) bei demselben Niveau von gestrippter Leistung von ungefähr 450 W entspricht.

[0044] Anwendungen des Mantelmoden-Strippers 20 der **Fig. 2A** werden nun betrachtet. Mit Bezug zu **Fig. 15** umfasst ein optischer Faserverstärker 150 den Mantellicht-Stripper 20 und einen Abschnitt 159 einer doppelt ummantelten optischen Faser des Verstärkers, welcher mit der doppelt ummantelten optischen Faser 21 des Mantellicht-Strippers 20 an einem ersten Ende 151 des Abschnitts 159 der doppelt ummantelten optischen Faser des Verstärkers gekoppelt ist. Eine Pumpdiode 153 ist optisch, z. B. über Linsen 155 und einen dichroitischen Spiegel 156, mit einem zweiten gegenüberliegenden Ende 152 des Abschnitts 159 der doppelt ummantelten optischen Faser des Verstärkers gekoppelt. Im Betrieb erzeugt die Pumpendiode ein Pumplicht 154, welches in gestrichelten Linien dargestellt und in den Abschnitt 159 der doppelt ummantelten optischen Faser des Verstärkers eingekoppelt wird, um von dem zweiten Ende 152 zu dem ersten Ende 151 des Abschnitts 159 der doppelt ummantelten optischen Faser des Verstärkers zu verlaufen. Der dichroitische Spiegel 156 reflektiert Licht mit der Wellenlänge des Pumplichts, aber überträgt Licht mit der Wellenlänge des Signals. Wenn das Pumplicht 154 in einem dotierten Kern 162 des Abschnitts 159 der doppelt ummantelten optischen Faser des Verstärkers absorbiert wird, wird ein ankommendes optisches Signal 157 verstärkt und ein abgehendes optisches Signal 158, welches in durchgezogenen Linien dargestellt ist, oder ein Laserlicht 158 verlässt den Verstärker über den dichroitischen Spiegel 156. Der Mantellicht-Stripper 20 entfernt den größten Teil des restlichen Pumplichts 154, welches nicht in dem dotierten Kern 162 des Abschnitts 159 der doppelt ummantelten optischen Faser des Verstärkers absorbiert worden ist.

[0045] Der Mantelmoden-Stripper 20 kann z. B. einen undotierten doppelt ummantelten Faserabschnitt aufweisen, welcher mit dem Abschnitt 159 der doppelt ummantelten optischen Faser des Verstärkers verbunden ist, oder er kann einen anderen Abschnitt einer selben aktiven (dotierten) doppelt ummantelten optischen Faser aufweisen, welche den Abschnitt 159 der doppelt ummantelten optischen Faser des Verstärkers umfasst. Bei einer erfin-

dungsgemäßen Ausführungsform kann der Mantellicht-Stripper 20 eine Licht-Stripeffizienz von mindestens 15 dB bezüglich des restlichen optischen Leistungsniveaus der Pumpendiode 153 von mindestens 200 W aufweisen.

[0046] Mit Bezug zu **Fig. 16** und weiterem Bezug zu **Fig. 15** umfasst ein Faserlaser 160 den optischen Faserverstärker 150 und einen Oszillator 161, welcher optisch mit dem optischen Faserverstärker 150 gekoppelt ist, um das ankommende optische Signal 157 zu erzeugen. Die Funktion des Mantellicht-Strippers 20 ist, möglichst viel Mantellicht von dem inneren Mantel 24 zu entfernen, um eine Überhitzung, eine Beschädigung oder eine Destabilisierung des Oszillators 161 zu verhindern.

[0047] Der Mantellicht-Stripper 20 kann auch in verschiedenen anderen Konfigurationen eingesetzt werden, zum Beispiel (1) in einem Faserverstärker, nicht dargestellt, bei welchem die Ausbreitungsrichtung des Signals 157 dieselbe Richtung wie diejenige des Pumplichts ist, und sich der Mantellicht-Stripper 20 in der Nähe des ausgangsseitigen Ende der aktiven Faser oder in einer passiven Zuführungsfaser, welche mit der aktiven Faser verbunden ist, befindet, wodurch sowohl Pumplicht als auch Signallicht in dem Mantel gestrippt wird; (2) in einem Faserverstärker, der doppelt durchlaufen wird, nicht dargestellt, in welchem das optische Signal 157 in dem Kern reflektiert wird, so dass das optische Signal 157 zweimal durch die aktive Faser verläuft; (3) in einem Faseroszillator, nicht dargestellt, welcher durch eine aktive Faser und zwei Reflektoren ausgebildet wird, wobei der Mantellicht-Stripper 20 an dem der Pumpe gegenüberliegenden Ende des Oszillators angeordnet ist; oder (4) in einer autonomen Leistungszuführungsfaser, nicht dargestellt, welche, z. B. durch steckbare Verbinder oder durch Faser-Spleißen, mit einem Lasersystem verbunden sein kann.

[0048] Erfindungsgemäß wird der Mantellicht-Stripper 20 vorzugsweise durch Laser-Materialablation hergestellt, wobei ein Herstellungssystem 170 eingesetzt wird, welches in **Fig. 17** dargestellt ist. Das Herstellungssystem 170 umfasst einen CO_2-Laser 171, ein Strahlzuführungssystem 172, welches eine Zuführungsfaser 173 und einen Prozesskopf 174 aufweist, eine motorisierte Umsetzungs-/Dreh-Stufe 175 und einen Computer 176, welcher ausgestaltet ist, um den CO_2-Laser 171 und die Umsetzungs-/Dreh-Stufe 175 zu steuern. Mit Bezug zu **Fig. 18** und weiterem Bezug zu **Fig. 2A** und **Fig. 17** umfasst ein Verfahren 180 zur Herstellung des Mantellicht-Strippers 20 einen Schritt 181 zum Entfernen des Abschnitts 26 des äußeren Mantels 25, wobei der Abschnitt 27 der Außenfläche 28 des inneren Mantels 24 freiliegend belassen wird. Dann wird in einem Schritt 182 die gestrippte Faser 21 auf der motorisierten Umsetzungs-/Dreh-Stufe 175 angeordnet und der Prozesskopf 174 fokussiert einen ausgegebenen Laserstrahl 177 des CO_2-Lasers 171. Der ausgegebene Laserstrahl 177 kann in einen sphärischen oder elliptischen Brennpunkt 178 auf der Außenfläche 28 des freiliegenden Abschnitts 27 fokussiert werden. Daher kann der Prozesskopf 174 eine Kombination einer sphärischen Linse/Meniskuslinse und/oder zylindrischen Linse, nicht dargestellt, aufweisen. Der CO_2-Laser 171 wird vorzugsweise in zig bis hunderten von Mikrosekunden im gated Modus betrieben, und die Spitzenintensität des fokussierten Laserstrahls ist ausgewählt, um abhängig von der Pulsdauer oberhalb des Beschädigungsschwellenwerts des Materials des inneren Mantels zu liegen, beispielsweise zwischen 100 kW/cm² und 200 kW/cm² für Quarzglas. Der Brennpunkt 178 kann bezüglich der Größe zwischen 80 µm und 200 µm liegen. Der Brennpunkt 178 kann geformt sein, und/oder der Laserstrahl 177 kann abgewinkelt sein, um eine erwünschte Form der Aussparung 29 auszubilden.

[0049] Nachdem eine Aussparung 29 durch einen oder durch mehrere Schüsse von Pulsen hergestellt worden ist, wird der Laserstrahl 177 in einem Schritt 183 auf die nächste Position fokussiert, indem entweder die Faser 21 mittels der Umsetzungs-/Dreh-Stufe 175 bewegt wird, wie es durch einen Pfeil 179 angezeigt ist, oder der Laserstrahl 177 bewegt wird, um folgende Aussparungen 29 zu erzeugen. Dann wird in einem Schritt 184 der Schritt 182 des Fokussierens und Ablatierens wiederholt, wobei die Faser zu einer nächsten Position verschoben wird, und so weiter. Der Abstand zwischen benachbarten Aussparungen 29 kann identisch sein oder variieren, was entweder manuell oder automatisch über den Computer 176 und die Umsetzungs-/Dreh-Stufe 175 gesteuert wird, um die optische Faser 21 längsseits zu versetzen, um eine angestrebte Stripeffizienz und/oder Wärmebelastungsverteilung zu erzielen, wie es vorab erläutert ist. Die Breite w und die Tiefe d der Aussparungen wird gesteuert, indem Parameter des CO_2-Lasers 171 und/oder Fokussierungs-Parameter, d. h. eine Anzahl von Schüssen auf jede Aussparung 29, eine Spitzenleistung, eine Laserpulsdauer, eine zeitliche Wellenform des Lasers, eine Brennpunktintensität des Lasers, eine Brennpunktgröße des Lasers, eine Position der Faser 21 relativ zu dem Laserbrennpunkt 178 und Ähnliches, verändert werden.

[0050] Das Herstellungssystem 170 kann eingesetzt werden, um den Mantellicht-Stripper 20 in jeder Faser, sogar bei einem existierenden Lasersystem auszubilden, wobei kein zusätzlicher Spleiß erforderlich ist. Dies ist vorteilhaft, da zusätzliche Spleiße weitere Kernlichtverluste und eine Verschlechterung in der Qualität des ausgegebenen Laserstrahls einführen können.

[0051] Die Aussparungen 29 können auf einer oder mehreren Seiten der Faser 21 ausgebildet werden, wie es in **Fig. 4A** bis **Fig. 4D** dargestellt ist, indem entweder die Faser 21 mittels der Umsetzungs-/Dreh-Stufe 175 gedreht wird oder indem mehrere Laserstrahlen eingesetzt werden, nicht dargestellt. Die Anzahl der Seiten, auf welchen die Aussparungen 29 ausgebildet werden, wird durch die erforderliche Stripeffizienz und/oder andere Anforderungen vorgeschrieben. Andere Laser-Typen, beispielsweise UV-Laser, können eingesetzt werden, um die Aussparungen auszubilden.

[0052] Wieder mit **Fig. 2A** und **Fig. 2B** und mit weiterem Bezug zu **Fig. 17** und **Fig. 18** sind der Mantelmoden-Stripper 20, welcher mittels des CO_2-Lasersystems 170 (**Fig. 17**) hergestellt ist, und das Verfahren 180 (**Fig. 18**) demonstriert worden, um 500 W des Lichts des inneren Mantels abzuleiten, mit einem sehr geringen Temperaturkoeffizient für den inneren Mantel 24 aus Quarzglas, typischerweise um 0,06% C pro Watt (W) der entfernten optischen Leistung und für den äußeren Mantel 25 aus Polymer, typischerweise ~0,03° C/W. Ein Mantelmoden-Stripper 20 von nur 40 mm Länge kann ungefähr 19 dB an Dämpfung für Mantellicht-Anteile 30A , 30B einer geringen NA von weniger als 0,08 bei einem Leistungsniveau von 500 W erzielen. Typischerweise wurde eine Stripeffizienz von mindestens 16-23 dB erzielt, wobei gelegentlich eine Effizienz von bis zu 32 dB für Mantellicht-Anteile 30A, 30B einer geringen NA von weniger als 0,08 erzielt wurden.

[0053] Ein anderer Vorteil des Mantellicht-Strippers 20 ist, dass sogar bei umfangreichen Änderungen auf der Oberfläche 28 des inneren Mantels 24 eine geringe oder keine Schwächung der Zugfestigkeit der optischen Faser 21 beobachtet wurde. Alle Prototypenvorrichtungen wurden mit einem Biegetest getestet und alle bestanden mit einer äquivalenten Zugfestigkeit von 50 kPSI. Darüber hinaus hat ein kompakter Prototyp eines Mantellicht-Strippers 20 einen standardisierten industriellen Stoßtest über 25 G und einen sinusartig durchlaufenden Vibrationstest von 5 G bestanden.

[0054] Da das Herstellungsverfahren 180 von Aussparungen mit einem Laser der **Fig. 18** eine Brechungsindex-Änderung bezüglich des Kerns 22 der optischen Faser 21 einführen kann, ist es möglich, dass eine solche Vorrichtung einen Einkoppelverlust oder eine Abschwächung bezüglich der Modenqualität einführen kann. Eine Möglichkeit, diesen Effekt abzumildern, ist, die Tiefe d der Aussparungen 29 zu verringern oder einen Aussparungsabstand zu wählen, welcher unterschiedlich zu einer Resonanzfrequenz ist, welche die Grundmode (Grundwelle) des Kernlichts 23 in einen Mode höherer Ordnung koppeln würde. Diese Faktoren werden vorzugsweise berücksichtigt, wenn der Aussparungsabstand ausgewählt wird. Es ist experimentell nachgewiesen worden, dass kein Verlust bezüglich der optischen Leistung im Kern oder dass keine Abschwächung bezüglich der Modenqualität bei den Prototypen des Mantellicht-Strippers 20 beobachtet wurde.

[0055] Die vorab stehende Beschreibung einer oder mehrerer erfindungsgemäßer Ausführungsformen wurde zum Zweck der Darstellung und Beschreibung dargelegt.

[0056] Sie soll nicht vollständig sein und soll die Erfindung nicht auf die genaue offenbarte Ausführungsform beschränken. Viele Modifikationen und Variationen sind im Licht der vorab stehenden Lehre möglich. Der Umfang der Erfindung soll nicht durch diese detaillierte Beschreibung, sondern nur durch die beigefügten Ansprüche beschränkt werden.

Patentansprüche

1. Mantellicht-Stripper (20; 20A; 20B), umfassend:
eine doppelt ummantelte optische Faser (21), welche einen Kern (22), um ein Signallicht zu führen, einen inneren Mantel (24), welcher den Kern (23) umgibt, und
einen äußeren Mantel (25), welcher den inneren Mantel (24) umgibt, aufweist,
wobei die doppelt ummantelten optische Faser (21) einen gestrippten Abschnitt (26) aufweist, wo der äußere Mantel (25) entfernt ist, wodurch ein freiliegender Abschnitt (27) einer Außenfläche des inneren Mantels (24) ausgebildet ist,
wobei der freiliegende Abschnitt (27) mehrere quer verlaufende Aussparungen (29) aufweist, welche entlang der doppelt ummantelten optische Faser (21) angeordnet sind, um einem Licht zu ermöglichen, beim Auftreffen auf die mehreren querverlaufenden Aussparungen (29) dem inneren Mantel (24) zu entkommen,
wobei jede der mehreren querverlaufenden Aussparungen (29) eine Tiefe (d) von nur einem Teil eines Abstands (D) zu dem Faserkern (22) aufweist,
wobei sich die jeweiligen Tiefen (d) der mehreren quer verlaufenden Aussparungen (29) graduell entlang einer Länge des freiliegenden Abschnitts (27) verändern,
die mehreren quer verlaufenden Aussparungen (29) einen Pitch von 1 Aussparung/cm bis zu 1000 Aussparungen/cm aufweisen, und
die mehreren Aussparungen (29) mindestens 10 Aussparungen umfassen,
wobei die Tiefe (d) der Aussparungen (29) zwischen 5 % und 20 % des Durchmessers des inneren Mantels (24) beträgt.

2. Mantellicht-Stripper (20; 20A, 20B) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der

Kern (22) eine Dotiersubstanz aufweist, um das Signallicht zu verstärken, wenn es durch ein Pumplicht (33; 154), welches durch den inneren Mantel (24) geführt wird, gepumpt wird.

3. Mantellicht-Stripper (20; 20A, 20B) nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die mehreren quer verlaufenden Aussparungen (29) einen Pitch aufweisen, welcher sich graduell entlang einer Länge des freiliegenden Abschnitts (27) verändert.

4. Mantellicht-Stripper (20; 20A, 20B) nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass sich der Pitch zwischen 2 Aussparungen/cm und 200 Aussparungen/cm verändert.

5. Mantellicht-Stripper (20; 20A, 20B) nach einem der Ansprüche 1-4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Tiefe (d) der Aussparungen (29) zwischen 20 µm bis 80 µm tief ist.

6. Mantellicht-Stripper (20; 20A, 20B) nach einem der Ansprüche 1-5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die mehreren quer verlaufenden Aussparungen (29) entlang einer Länge und um einen Umfang des freiliegenden Abschnitts (27) herum beabstandet sind.

7. Mantellicht-Stripper (20; 20A, 20B) nach einem der Ansprüche 1-6, **dadurch gekennzeichnet**, dass der freiliegende Abschnitt (27) einen gebogenen Abschnitt umfasst, welcher einen Biegeradius zwischen 50 cm und 200 cm aufweist.

8. Mantellicht-Stripper (20; 20A, 20B) nach einem der Ansprüche 1-7, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Mantellicht-Stripper darüber hinaus eine Wärmesenke (34) umfasst um Licht zu absorbieren, welches dem inneren Mantel (24) entkommt, und um eine Wärme zu verteilen, welche durch das absorbierte Licht erzeugt wird.

9. Mantellicht-Stripper (20; 20A, 20B) nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Wärmesenke (34) einen Hohlraum (35) um den gestrippten Abschnitt (26) ausbildet, um das Licht, welches dem inneren Mantel (24) entkommen ist, aufzufangen, wobei der Hohlraum (35) einen absorbierenden Abschnitt (36) und einen reflektierenden Abschnitt (37), um das entkommene Licht zu dem absorbierenden Abschnitt (36) zu leiten, aufweist, wobei der absorbierende Abschnitt (36) thermisch mit einer äußeren Wärmesenke (38) verbunden ist.

10. Optischer Faserverstärker (150), umfassend:
den Mantellicht-Stripper (20; 20A; 20B) nach einem der Ansprüche 1-9;
einen Abschnitt (159) einer doppelt ummantelten optischen Faser des Verstärkers, welcher mit der doppelt ummantelten optischen Faser (21) des Mantellicht-Strippers (20; 20A; 20B) an einem ersten Ende (151) des Abschnitts (159) der doppelt ummantelten optischen Faser des Verstärkers gekoppelt ist, und
eine Pumpendiode (153), welche optisch mit einem zweiten gegenüberliegenden Ende (152) des Abschnitts (159) der doppelt ummantelten optischen Faser des Verstärkers gekoppelt ist, um das Pumplicht (154) zur Ausbreitung von dem zweiten Ende (152) zu dem ersten Ende (151) des Abschnitts (159) der doppelt ummantelten optischen Faser des Verstärkers bereitzustellen.

11. Faserlaser (160), welcher den optischen Faserverstärker (150) nach Anspruch 10 und einen Oszillator (161), welcher optisch damit gekoppelt ist, umfasst.

12. Verfahren zum Ausbilden des Mantellicht-Strippers (20; 20A; 20B) nach einem der Ansprüche 1-9, wobei das Verfahren umfasst:
Fokussieren eines Laserstrahls (177) auf die Außenfläche des inneren Mantels (24) in dem freiliegenden Abschnitt (27), um den inneren Mantel (24) lokal zu entfernen,
um eine quer verlaufende Aussparung (29) in dem inneren Mantel (24) auszubilden; und
Wiederholen des Fokussierens eines Laserstrahls mehrmals an verschiedenen Stellen entlang des freiliegenden Abschnitts (27).

13. Verfahren nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein CO_2-Laser (171) eingesetzt wird, um den Laserstrahl (177) zu erzeugen, und dass der CO_2-Laser (171) in einem gated Modus bei einer Pulsdauer von zig bis hunderten von Mikrosekunden betrieben wird und der Laserstrahl (177) zu optischen Leistungsdichten zwischen 100 kW/cm2 und 200 kW /cm2 fokussiert ist.

14. Verfahren nach Anspruch 12 oder Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Laserstrahl (177) auf eine Brennpunktgröße von 80 µm bis 200 µm fokussiert wird und der Brennpunkt (178) geformt ist oder der Laserstrahl (177) abgewinkelt ist, um eine erwünschte Form der Aussparung (29) zu erzeugen.

15. Verfahren nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Wiederholen des Fokussierens des Laserstrahls ein automatisches Steuern eines Pitchs zwischen benachbarten Aussparungen (29) mittels einer computergesteuerten Umsetzungsstufe (175) umfasst, um die doppelt-ummantelte optische Faser (21) längsseits zu versetzen.

Es folgen 11 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

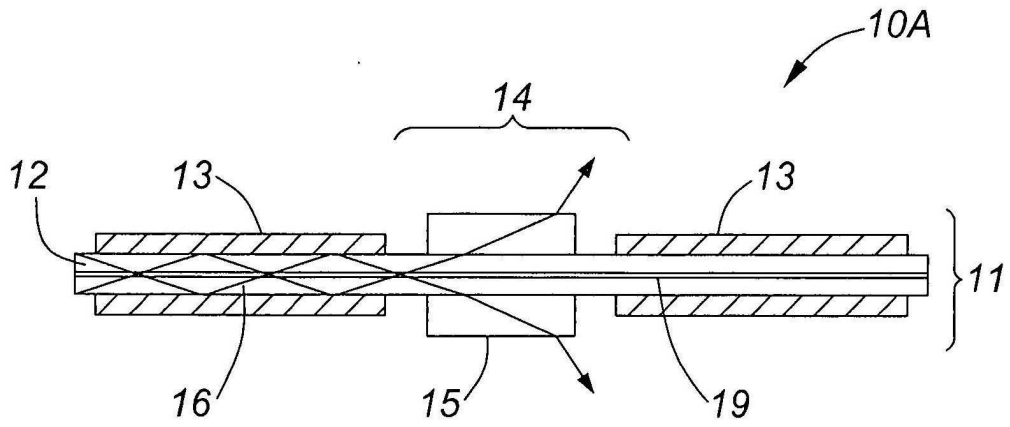


FIG. 1A

Stand der Technik

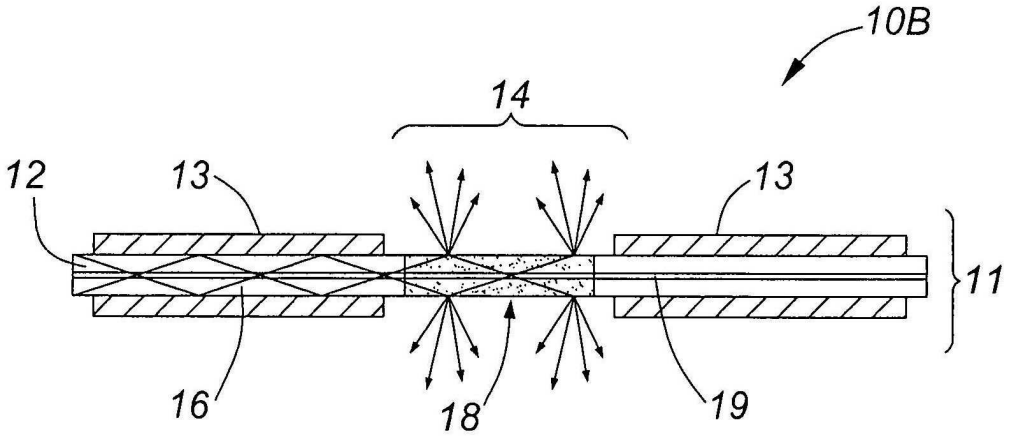


FIG. 1B

Stand der Technik

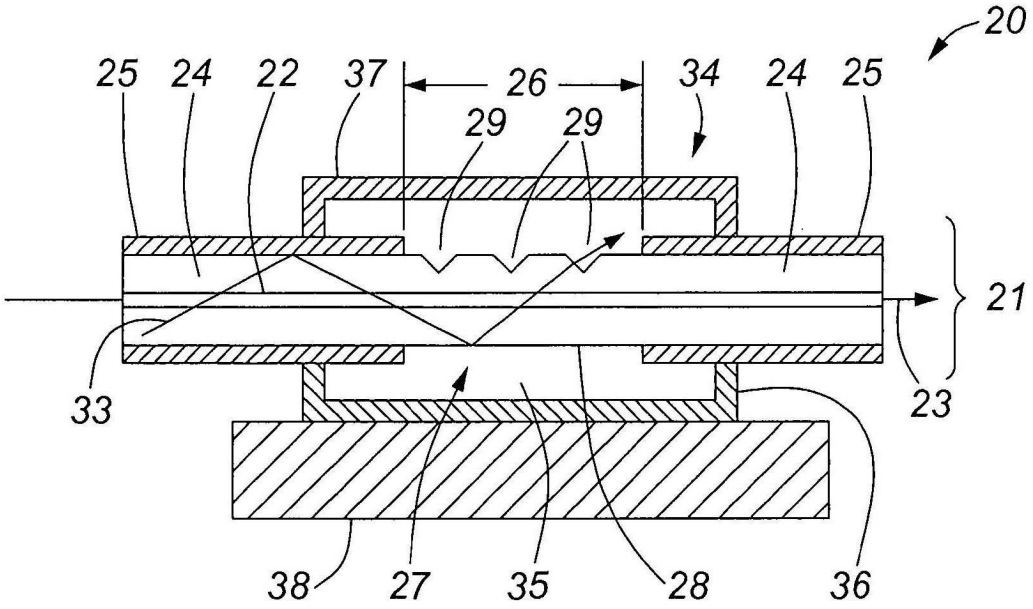

20
25
24
22
37
26
34
24
25
29
29
21
33
23
38
27
35
28
36

FIG. 2A

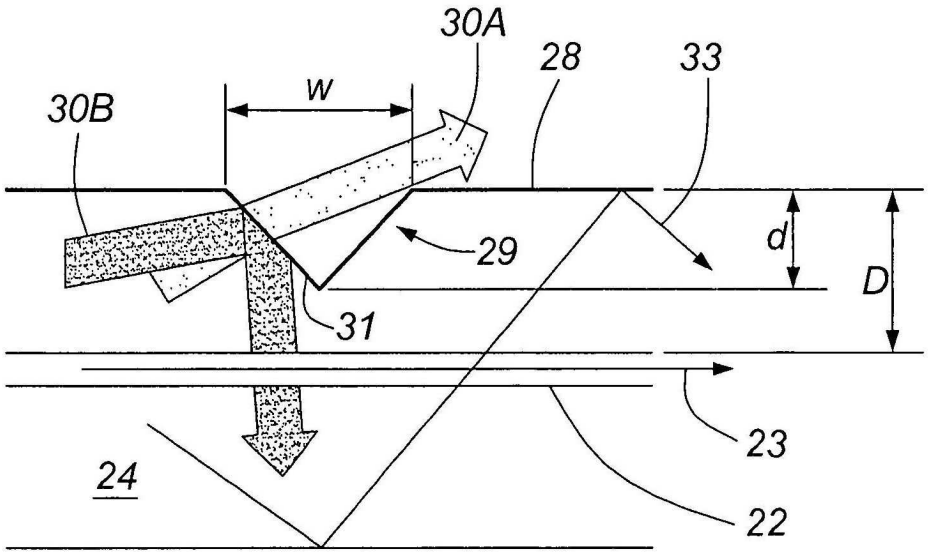

30A
28
33
w
30B
29
d
D
31
23
24
22

FIG. 2B

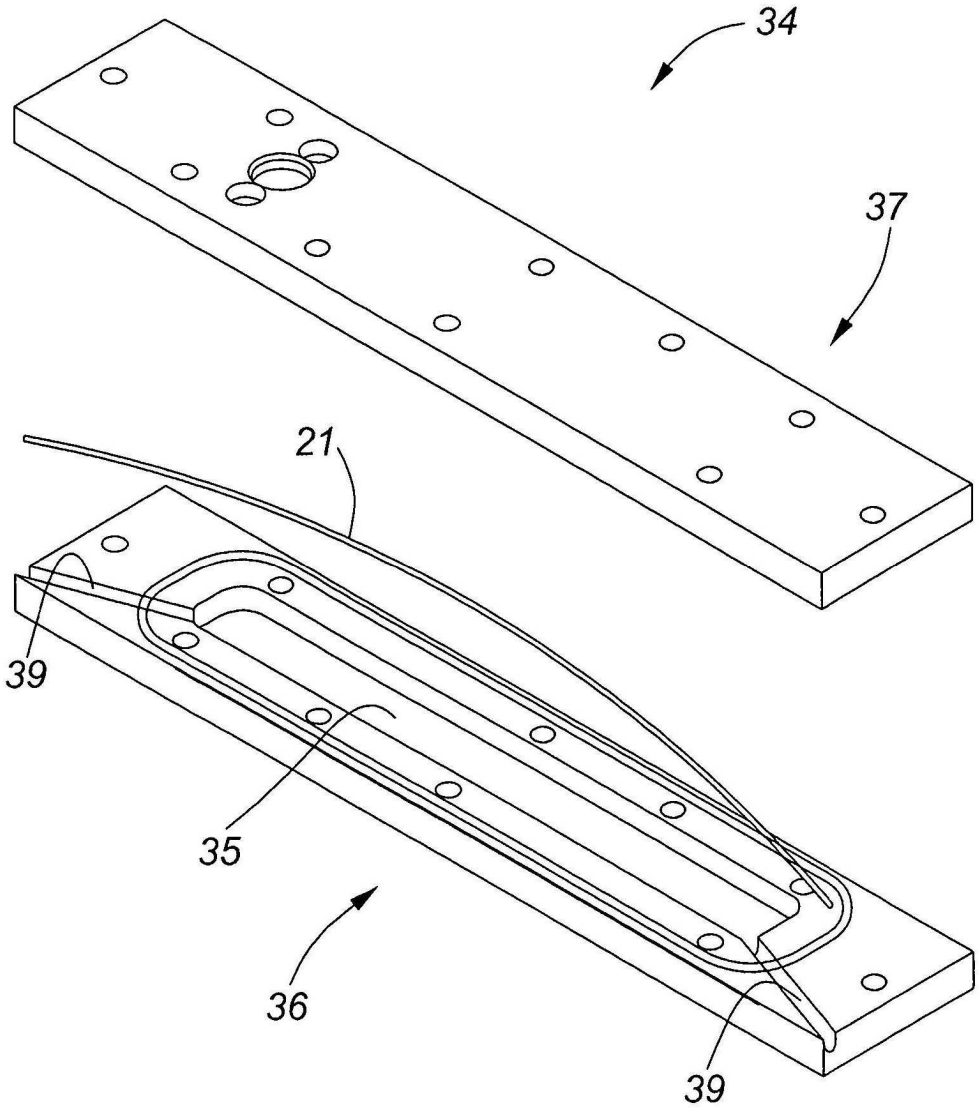


FIG. 3

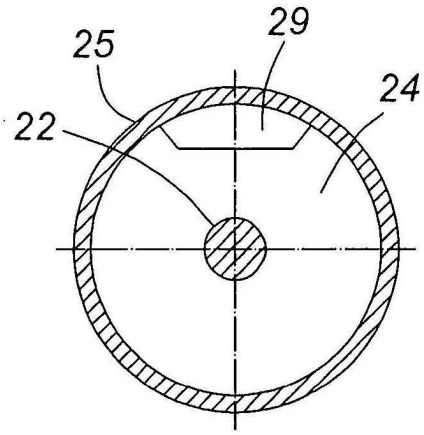


FIG. 4A

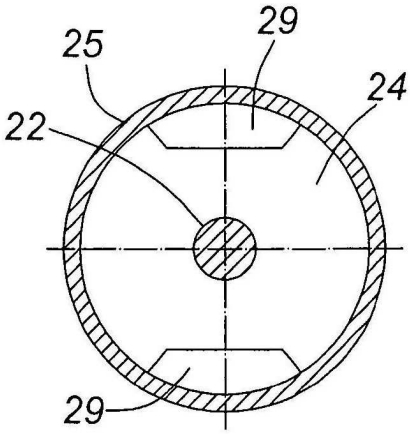


FIG. 4B

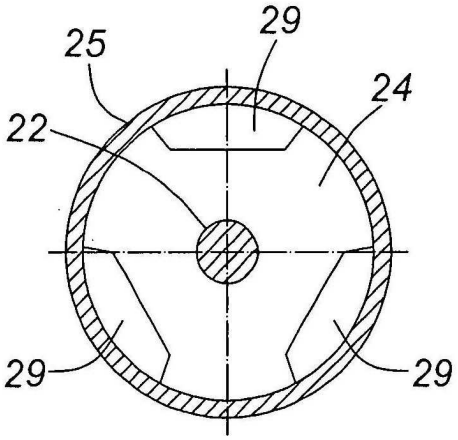


FIG. 4C

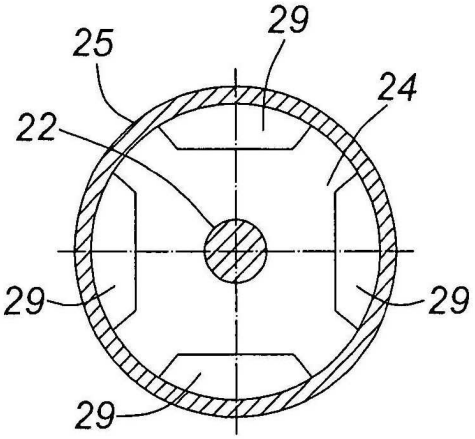


FIG. 4D

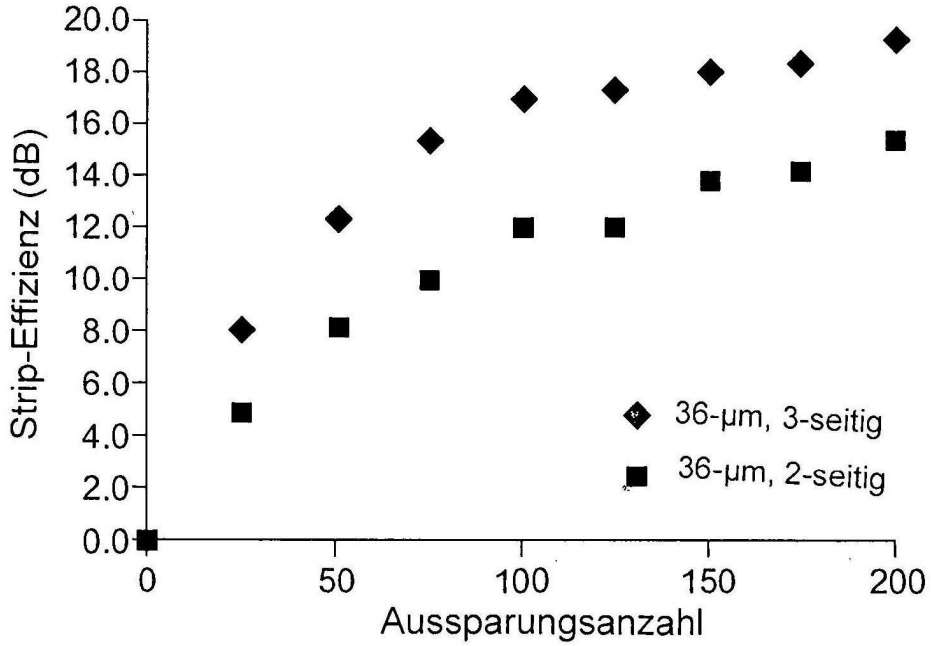

Strip-Effizienz (dB)
20.0
18.0
16.0
14.0
12.0
10.0
8.0
6.0
4.0
2.0
0.0
0
50
100
150
200
Aussparungsanzahl
36-µm, 3-seitig
36-µm, 2-seitig

FIG. 5

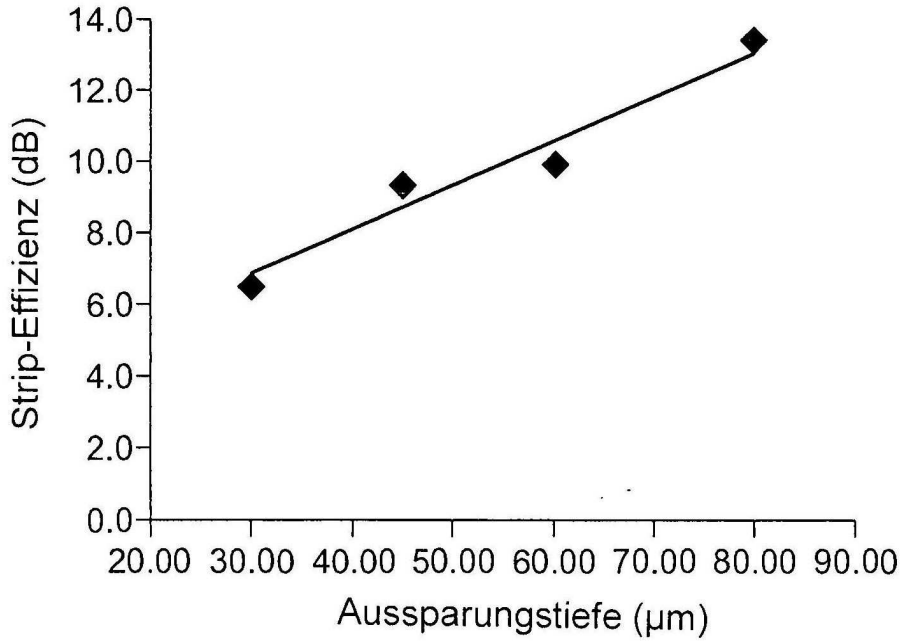

Strip-Effizienz (dB)
14.0
12.0
10.0
8.0
6.0
4.0
2.0
0.0
20.00
30.00
40.00
50.00
60.00
70.00
80.00
90.00
Aussparungstiefe (µm)

FIG. 6

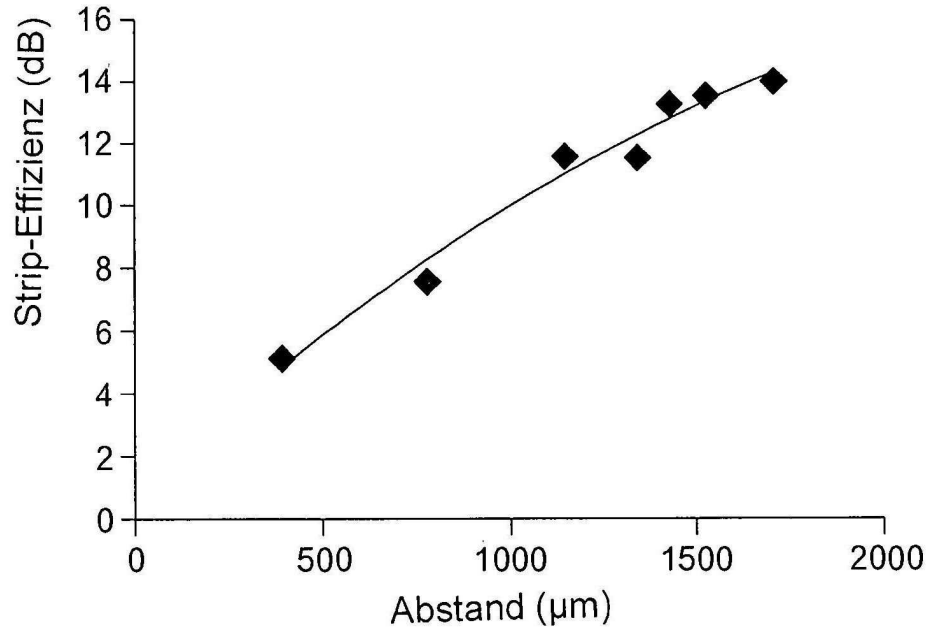

Strip-Effizienz (dB)
16
14
12
10
8
6
4
2
0
0
500
1000
1500
2000
Abstand (µm)

FIG. 7

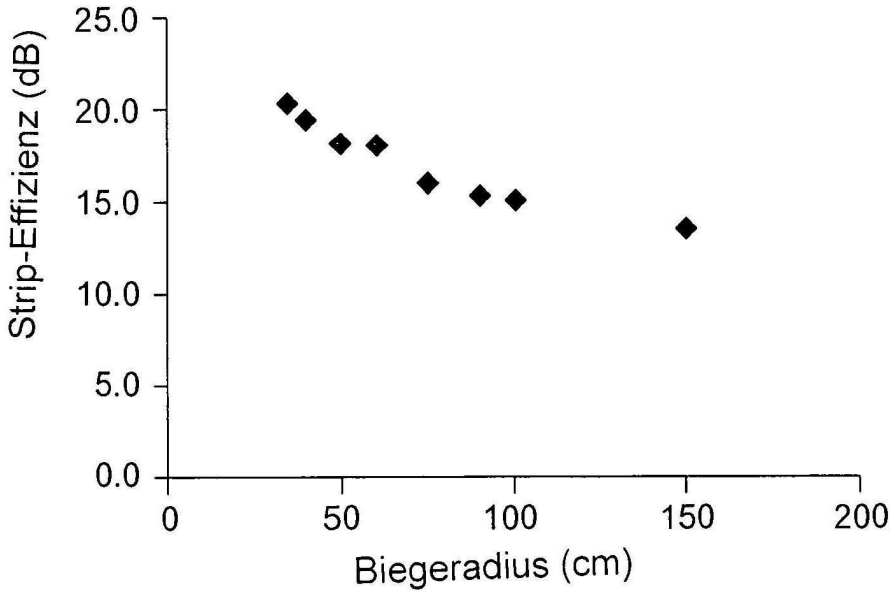

Strip-Effizienz (dB)
25.0
20.0
15.0
10.0
5.0
0.0
0
50
100
150
200
Biegeradius (cm)

FIG. 8

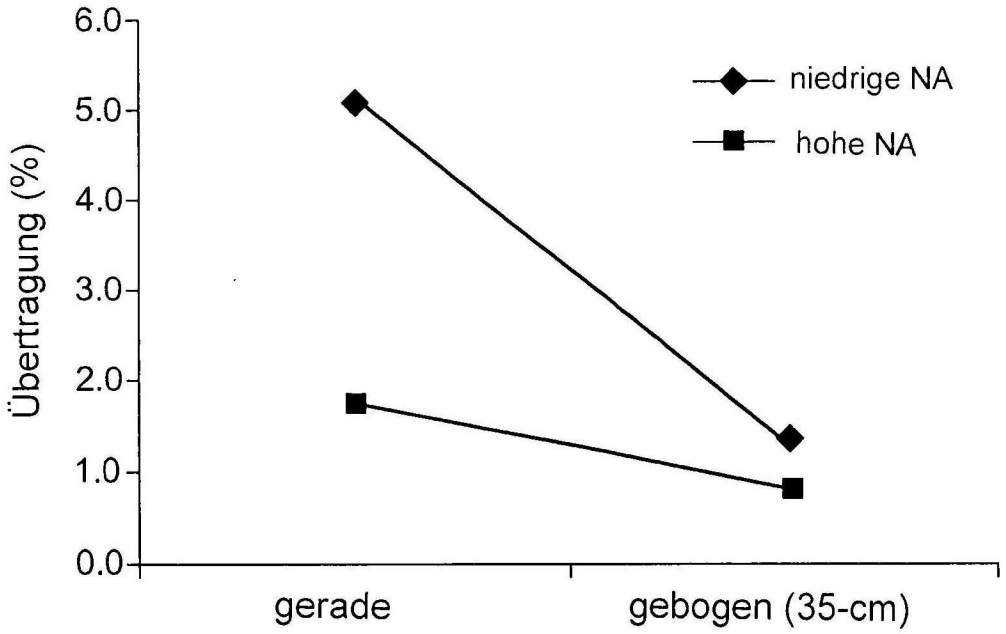

6.0
5.0
4.0
3.0
2.0
1.0
0.0
Übertragung (%)
niedrige NA
hohe NA
gerade
gebogen (35-cm)

FIG. 9

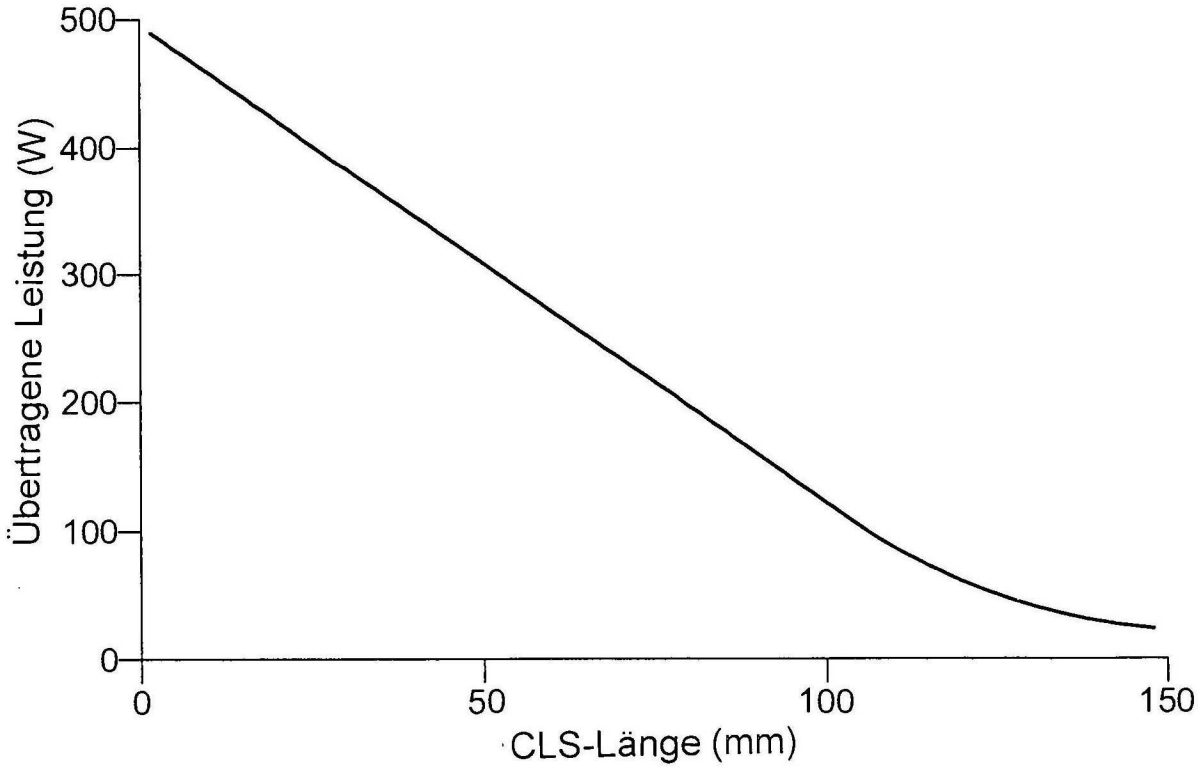

500
400
300
200
100
0
Übertragene Leistung (W)
0
50
100
150
CLS-Länge (mm)

FIG. 10

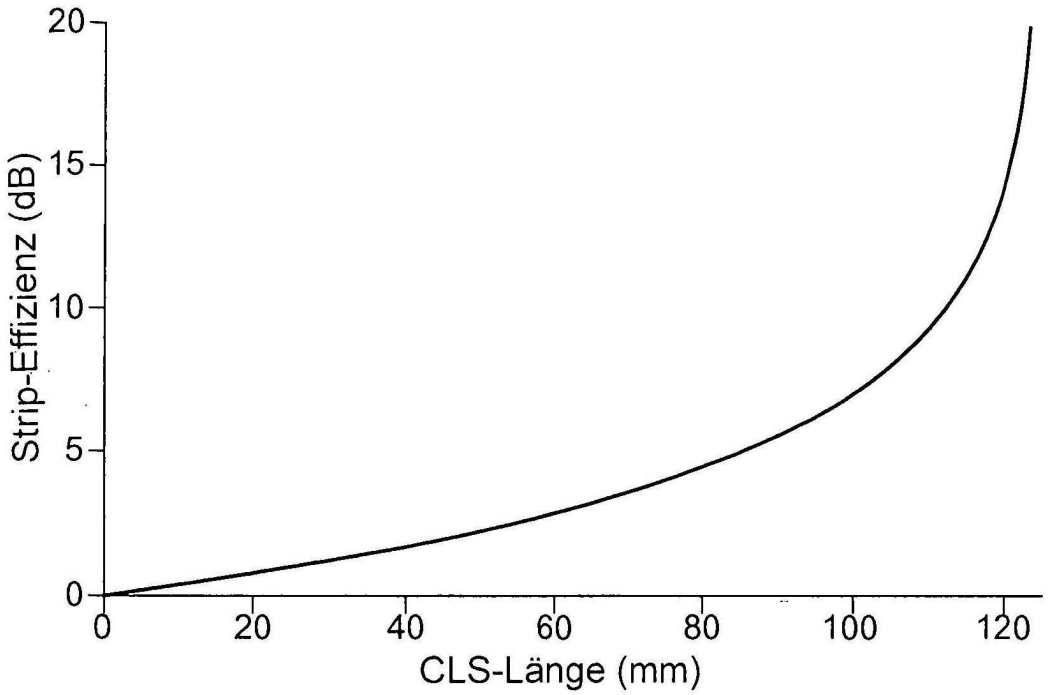


FIG. 11

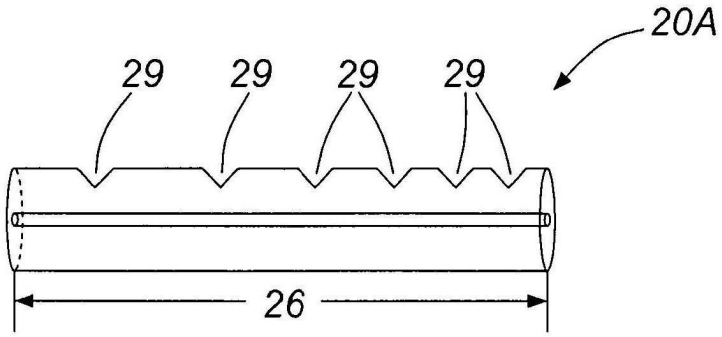


FIG. 12

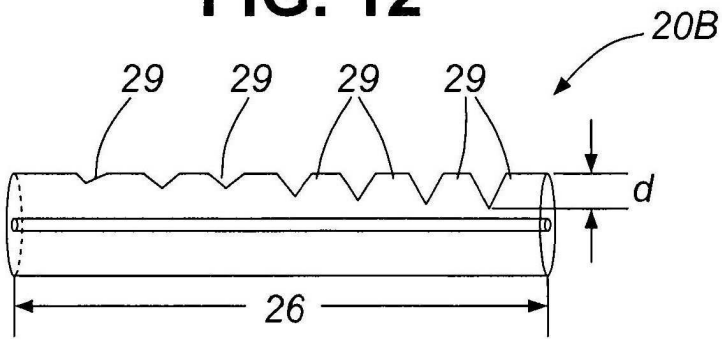


FIG. 13

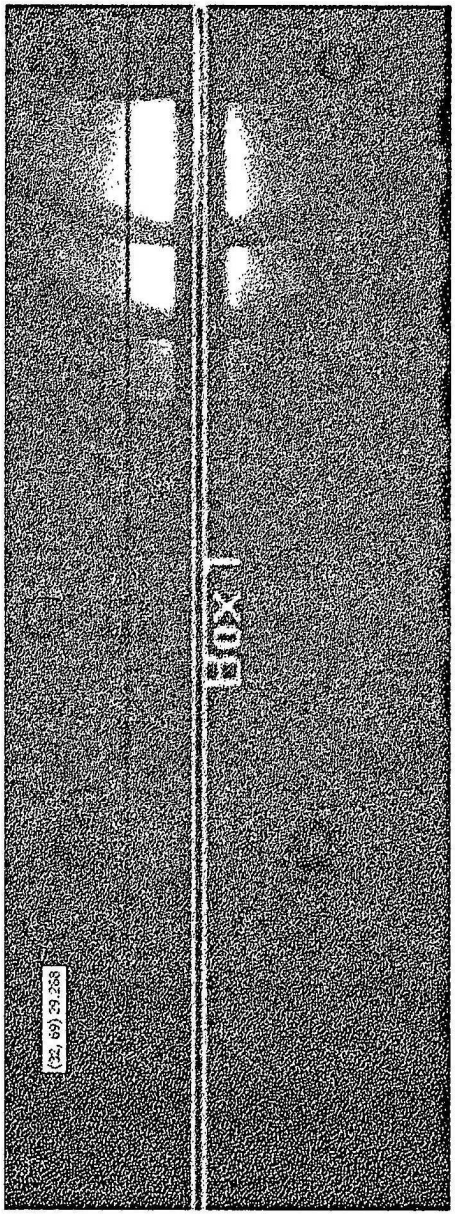


FIG. 14A

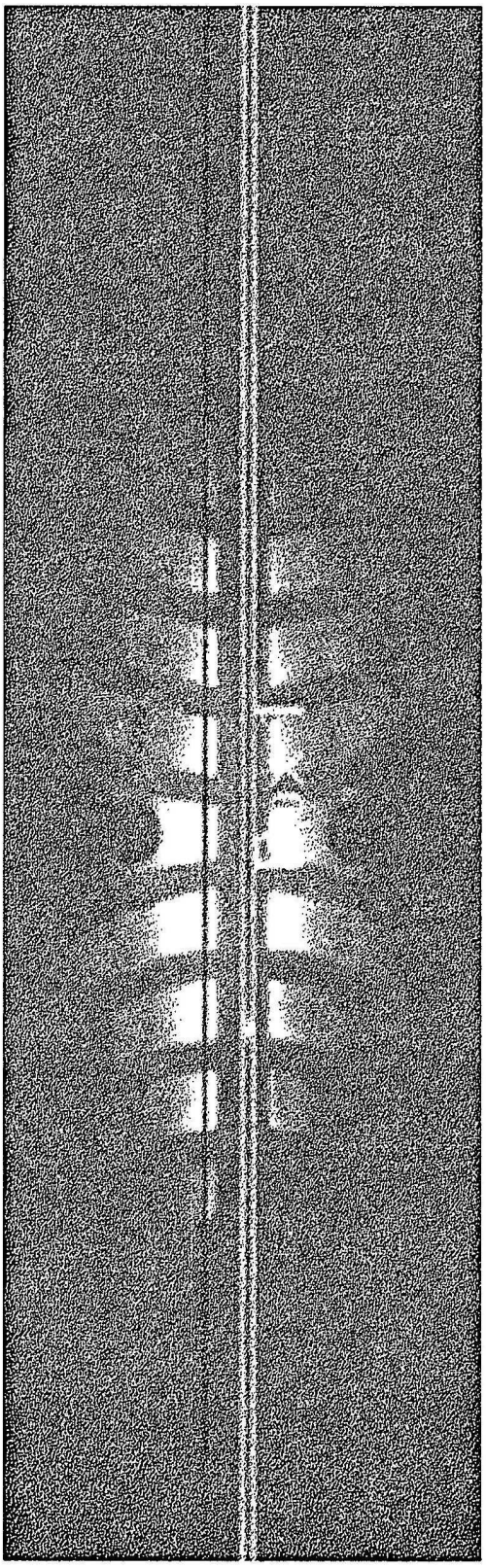


FIG. 14B

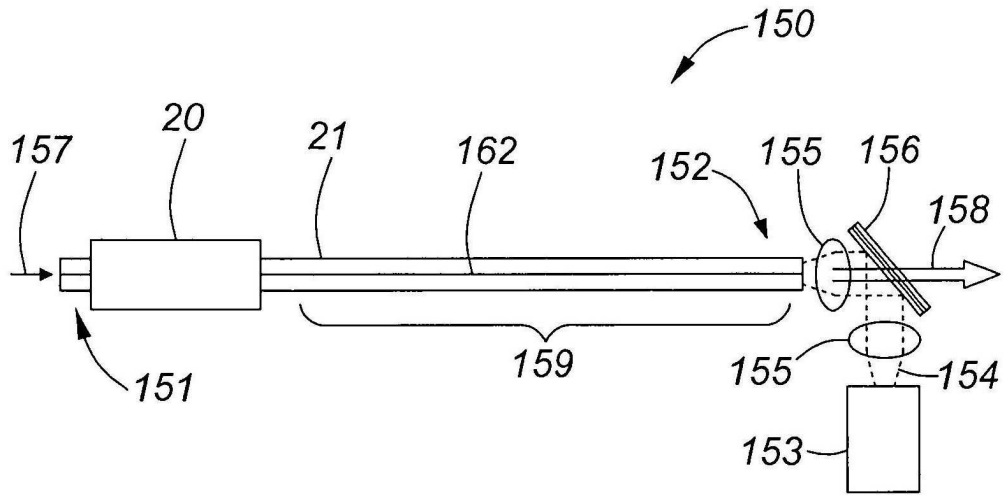

150
157
20
21
162
152
155
156
158
159
155
154
151
153

FIG. 15

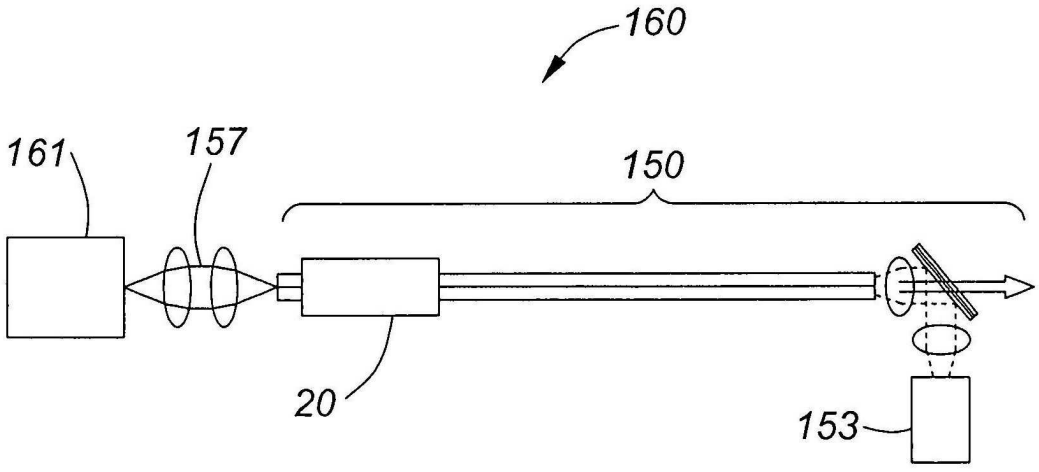

160
161
157
150
20
153

FIG. 16

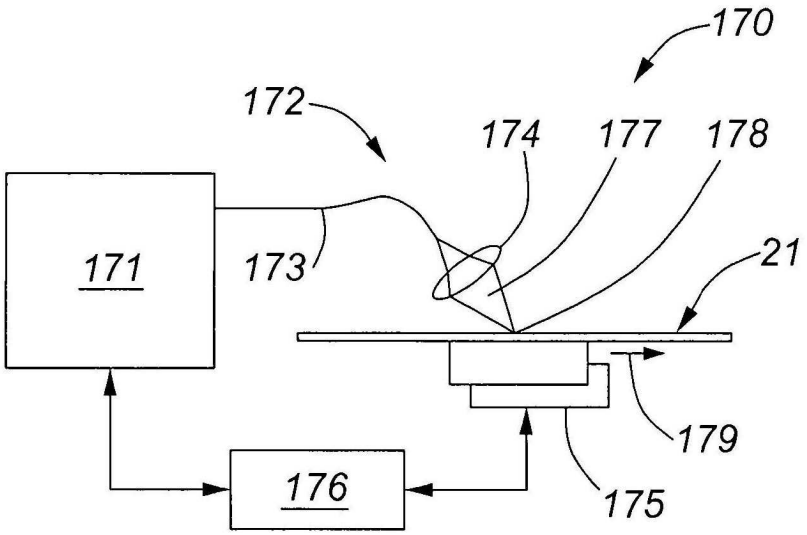


FIG. 17

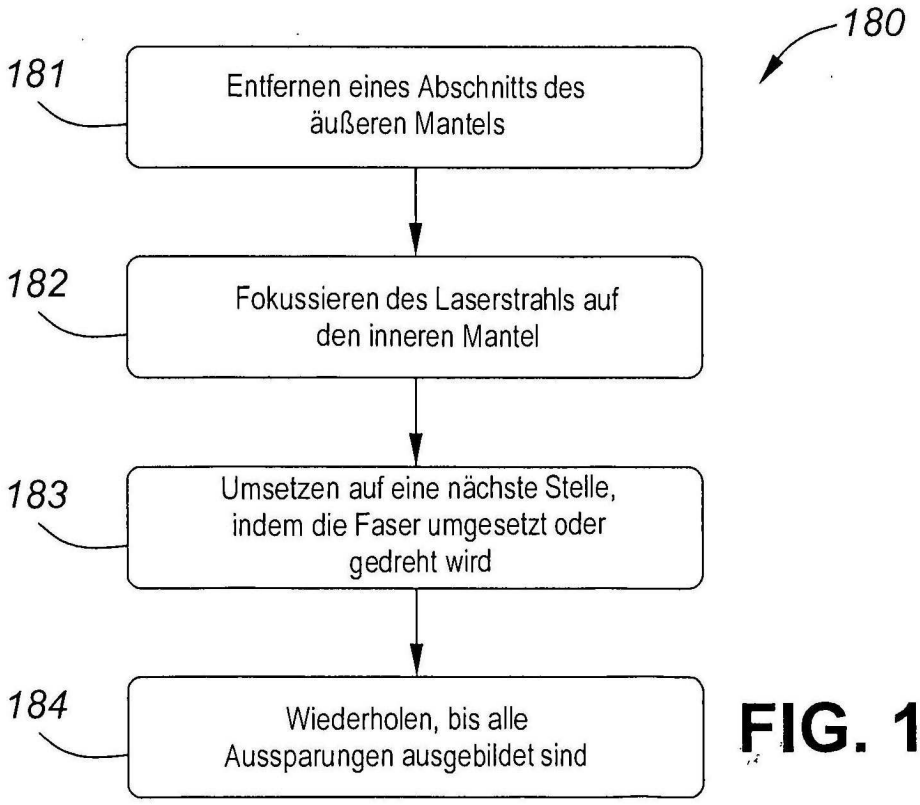


FIG. 18

 Das Dokument wurde durch die Firma Luminess hergestellt.