

-1-

„Faserlaservorrichtung“

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Faserlaservorrichtung gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Definitionen: In Ausbreitungsrichtung der Laserstrahlung meint mittlere Ausbreitungsrichtung der Laserstrahlung, insbesondere wenn diese keine ebene Welle ist oder zumindest teilweise divergent ist. Mit Laserstrahl, Lichtstrahl, Teilstrahl oder Strahl ist, wenn nicht ausdrücklich anderes angegeben ist, kein idealisierter Strahl der geometrischen Optik gemeint, sondern ein realer Lichtstrahl, wie beispielsweise ein Laserstrahl, der keinen infinitesimal kleinen, sondern einen ausgedehnten Strahlquerschnitt aufweist. Mit Licht soll nicht nur elektromagnetische Strahlung des sichtbaren Spektralbereichs bezeichnet werden, sondern der gesamte von der Optik umfasste Spektralbereich elektromagnetischer Strahlung vom VUV bis zum FIR.

Eine Faserlaservorrichtung der vorgenannten Art ist aus der US 6,178,187 B1 bekannt. Bei dem darin beschriebenen Faserlaser ist ein Faserkern vorgesehen, der mit laseraktiven Ionen seltener Erden dotiert ist. Weiterhin wird ein Mantel der Lichtleitfaser mit einem rechteckigen Querschnitt verwendet. In diesen Mantel hinein wird endseitig Pumplicht eingebracht, das während seiner Bewegung durch die aufgewickelten Schlaufen der Lichtleitfaser in den Faserkern einkoppelt und in dieser Laserstrahlung erzeugt. Der Mantel mit dem rechteckigen Querschnitt gewährleistet, dass unterschiedliche Lasermode in dem Faserkern erzeugt werden, so dass eine effektivere Ausbeute des Pumplichts erzielt werden kann.

Da bei entsprechend langen Lichtleitfasern die Intensität des Pumplichts bei Bereichen, die von dem mit Pumplicht beaufschlagten

-2-

Ende der Lichtleitfaser entfernt sind, vergleichsweise gering ist, ergibt sich kein gleichmäßiges Pumpen über die Länge der Lichtleitfaser. Weiterhin ist die Querschnittsfläche des Mantels vergleichsweise gering, so dass nur vergleichsweise kleine Pumpleistungen erzielt werden können.

Das der vorliegenden Erfindung zugrunde liegende Problem ist die Schaffung einer Faserlaservorrichtung der eingangs genannten Art, mit der hohe Ausgangsleistungen erzielt werden können.

Dies wird erfindungsgemäß durch eine Faserlaservorrichtung der eingangs genannten Art mit den kennzeichnenden Merkmalen des Anspruchs 1 erreicht. Die Unteransprüche betreffen bevorzugte Ausgestaltungen der Erfindung.

Gemäß Anspruch 1 ist vorgesehen, dass die Pumpmittel derart gestaltet sind, dass das Pumplicht während des Betriebs der Faserlaservorrichtung seitlich von außen in die Lichtleitfaser eintritt. Durch die seitliche Beaufschlagung mit Pumplicht lässt sich einerseits über die gesamte Länge der Lichtleitfaser Pumplicht hoher Intensität in den Faserkern einbringen. Andererseits können bei geeigneter Ausgestaltung der Pumpmittel auch große Pumpleistungen in den Faserkern eingekoppelt werden, so dass ein Hochleistungs-Faserlaser geschaffen werden kann.

Die Pumpmittel können insbesondere derart gestaltet sein, dass während des Betriebs der Faserlaservorrichtung mehrere Wicklungen oder Schlaufen der schlaufenartig aufgewickelten Lichtleitfaser gleichzeitig gepumpt werden. Dadurch können die Pumpmittel sehr effektiv das Pumplicht auf lange Abschnitte, insbesondere die gesamte Länge, der Lichtleitfaser verteilen.

-3-

Es kann vorgesehen sein, dass die Pumpmittel mindestens ein, insbesondere mehrere Übertragungsmittel umfassen, in das während des Betriebs der Faserlaservorrichtung Pumplicht eingebracht wird und aus dem oder in dem das Pumplicht in die Lichtleitfaser eingekoppelt wird. Dabei kann beispielsweise durch Vergrößerung der Übertragungsmittel oder durch die Vergrößerung der Zahl der Übertragungsmittel die in den Faserkern eingekoppelte Pumpleistung erhöht werden.

Es besteht die Möglichkeit, dass die mehreren Übertragungsmittel voneinander beabstandet sind, insbesondere über den Umfang der Wicklungen oder Schlaufen der schlaufenartig aufgewickelten Lichtleitfaser voneinander beabstandet sind. Auf diese Weise kann zwischen den Übertragungsmitteln Raum verbleiben, der beispielsweise für eine optimierte Aufwicklung der Lichtleitfaser genutzt werden kann.

Es kann vorgesehen sein, dass das mindestens eine Übertragungsmittel eine Ausnehmung für den Hindurchtritt der Lichtleitfaser aufweist. Dabei kann das mindestens eine Übertragungsmittel die Lichtleitfaser auf Teillängen umgeben. Wenn die Zwischenräume zwischen dem Material der Übertragungsmittel im Bereich der Ausnehmungen und der Lichtleitfaser möglichst klein sind, kann das Pumplicht vergleichsweise ungestört von dem Übertragungsmittel in die Lichtleitfaser eingekoppelt. Diese Einkopplung wird dadurch verbessert, dass in einer bevorzugten Ausführungsform der Faserlaservorrichtung der Brechungsindex des mindestens einen Übertragungsmittels im Wesentlichen gleich dem Brechungsindex der Lichtleitfaser, insbesondere im Wesentlichen gleich dem Brechungsindex des Faserkerns, ist. Es besteht die Möglichkeit, dass mehrere Ausnehmungen vorgesehen sind.

-4-

Es kann vorgesehen sein, dass das mindestens eine Übertragungsmittel, insbesondere dass jedes der Übertragungsmittel, aus zwei Teilen, vorzugsweise aus zwei Hälften, besteht oder zwei Teile, vorzugsweise zwei Hälften, umfasst. Dabei können die beiden Teile einander korrespondierende Ausnehmungen für den Hindurchtritt der Lichtleitfaser aufweisen. Durch eine derartige Gestaltung lässt sich eine erfindungsgemäße Faserlaservorrichtung relativ einfach aufbauen, weil lediglich die beiden Teile um die Lichtleitfaser herum gelegt und miteinander verbunden, beispielsweise miteinander verklebt, werden müssen.

Es besteht die Möglichkeit, dass das mindestens eine Übertragungsmittel derart gestaltet ist, dass das während des Betriebs der Faserlaservorrichtung eingekoppelte Pumplicht mindestens eine Reflexion, vorzugsweise mehrere Reflexionen, in dem mindestens einen Übertragungsmittel erfährt, wodurch die Pumpeffektivität erhöht wird. Dadurch wird das in das Übertragungsmittel eingekoppelte Pumplicht effektiver ausgenutzt.

Als Pumplichtquelle kann ein Halbleiterlaser oder können mehrere Halbleiterlaser, wie beispielsweise ein Laserdiodenbarren oder ein Stack von Laserdiodenbarren verwendet werden. Das Laserlicht dieses Halbleiterlasers oder dieser Halbleiterlaser kann mit geeigneten Optiken kollimiert und in das mindestens eine Übertragungsmittel eingebracht werden.

Der Faserkern kann beispielsweise aus Glas, vorzugsweise aus Quarzglas bestehen. Der Faserkern kann mit laseraktiven Ionen seltener Erden wie beispielsweise Ytterbium-, Neodym- oder Erbium-Ionen dotiert sein.

-5-

Beispielsweise kann bei der Dotierung mit Ytterbium-Ionen der Faserlaser mit einer Pumpwellenlänge von 975 nm und einer Ausgangswellenlänge von 1060 nm betrieben werden.

Es kann vorgesehen sein, dass ein Ende des Faserkerns hochreflektierend wie beispielsweise annähernd 100% reflektierend, ausgebildet ist und dass das andere Ende des Faserkern zur Auskopplung des Laserstrahls verwendet wird. Dieses andere Ende kann dann eine geringere Reflektivität für das auszukoppelnde Laserlicht aufweisen.

Es besteht die Möglichkeit, dass die Faserlaservorrichtung derart gestaltet ist, dass während des Betriebs der Faserlaservorrichtung das Pumplicht unter einem Winkel in das mindestens eine Übertragungsmittel eingekoppelt wird. Durch diesen Winkel werden mehrfache Reflexionen des Pumplichts in dem mindestens einen Übertragungsmittel gewährleistet, wodurch die Pumpeffektivität erhöht wird. Dadurch wird das in das Übertragungsmittel eingekoppelte Pumplicht effektiver ausgenutzt. Dieser Winkel und die Divergenz des Pumpstrahls sollen zusammen sicher stellen, dass der Strahl die Zone der mindestens einen Lichtleitfaser oder des Bündels von Lichtleitfasern oder der Schlaufen der mindestens einen Lichtleitfaser in dem mindestens einen Übertragungsmittel trifft.

Es kann vorgesehen sein, dass der Innendurchmesser der mindestens einen Ausnehmung in dem mindestens einen Übertragungsmittel im Wesentlichen dem Außendurchmesser der Lichtleitfaser entspricht, vorzugsweise dass der Innendurchmesser der mindestens einen Ausnehmung weniger als 50 μm , insbesondere weniger als 30 μm , beispielsweise zwischen 10 μm und 20 μm größer als der Außendurchmesser der Lichtleitfaser ist. Durch den auf diese Weise sehr kleinen Zwischenraum zwischen der Lichtleitfaser und den

-6-

Übertragungsmitteln kann das Pumplicht vergleichsweise ungehindert beziehungsweise ohne zusätzliche Reflexionen oder Brechungen von dem Übertragungsmittel in die Lichtleitfaser eintreten.

Es kann alternativ oder zusätzlich vorgesehen sein, dass der Innendurchmesser der mindestens einen Ausnehmung in dem mindestens einen Übertragungsmittel im Wesentlichen dem Außendurchmesser der Lichtleitfaser oder des Bündels von Lichtleitfasern oder der mehreren Schlaufen der Lichtleitfaser entspricht. Durch den auf diese Weise sehr kleinen Zwischenraum zwischen der Lichtleitfaser und den Übertragungsmitteln kann das Pumplicht vergleichsweise ungehindert beziehungsweise ohne zusätzliche Reflexionen oder Brechungen von dem Übertragungsmittel in die Lichtleitfaser eintreten.

Es kann vorgesehen sein, dass das mindestens eine Übertragungsmittel einen Bereich, insbesondere ein Fenster oder eine Eintrittsfläche, für den Eintritt des Pumplichts aufweist, wobei dieser Bereich deutlich kleiner als der mindestens eine hochreflektierende Bereich ist.

Es kann vorgesehen sein, dass für das Verhältnis $q = d_L/d_0$ zwischen dem Durchmesser d_L der mindestens einen Lichtleitfaser oder des Bündels von Lichtleitfasern oder der Schlaufen der mindestens einen Lichtleitfaser in dem mindestens einen Übertragungsmittel und dem Durchmesser d_0 des mindestens einen Übertragungsmittels gilt:

$0,01 < q < 1,0$, insbesondere $0,05 < q < 0,5$, beispielsweise $q = 0,1$. Es besteht dabei die Möglichkeit, dass q auch kleiner als 0,01 ist.

Durch eine derartige Maßnahme kann erreicht werden, dass im Inneren des Übertragungsmittels das Pumplicht möglichst oft auf die Lichtleitfaser auftrifft. Dadurch wird die Pumpeffektivität erhöht.

-7-

Es besteht die Möglichkeit, dass die Faserlaservorrichtung eine oder mehrere Lichtleitfasern umfasst.

-8-

Weitere Merkmale und Vorteile der vorliegenden Erfindung werden deutlich anhand der nachfolgenden Beschreibung bevorzugter Ausführungsbeispiele unter Bezugnahme auf die beiliegenden Abbildungen. Darin zeigen:

- Fig. 1 eine Draufsicht auf eine erste Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Faserlaservorrichtung;
- Fig. 2 einen vergrößerten, schematischen Schnitt gemäß den Pfeilen A, B in Fig. 1;
- Fig. 3 eine Draufsicht auf eine zweite Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Faserlaservorrichtung;
- Fig. 4 einen vergrößerten, schematischen Schnitt gemäß den Pfeilen A, B in Fig. 3;
- Fig. 5 eine Detailansicht der zweiten Ausführungsform gemäß Fig. 3;
- Fig. 6 eine Draufsicht auf eine dritte Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Faserlaservorrichtung;
- Fig. 7 eine Detailansicht einer vierten Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Faserlaservorrichtung;
- Fig. 8 eine Draufsicht auf eine fünfte Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Faserlaservorrichtung;
- Fig. 9 einen vergrößerten, schematischen Schnitt gemäß den Pfeilen A, B in Fig. 8;

-9-

- Fig. 10 eine Detailansicht einer sechsten Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Faserlaservorrichtung;
- Fig. 11 eine schematische, perspektivische Ansicht einer siebten Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Faserlaservorrichtung;
- Fig. 12 eine Draufsicht auf die Ausführungsform gemäß Fig. 11;
- Fig. 13 eine schematische Detailansicht der Ausführungsform gemäß Fig. 11;
- Fig. 14 ein Detail gemäß dem Pfeil XIV in Fig. 13, das den Aufbau einer Lichtleitfaser einer erfindungsgemäßen Faserlaservorrichtung verdeutlicht;
- Fig. 15 eine perspektivische Ansicht eines Übertragungsmittels der siebten Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Faserlaservorrichtung mit durch das Übertragungsmittel hindurch laufenden Schlaufen der Lichtleitfaser;
- Fig. 16 eine schematische Seitenansicht eines Übertragungsmittels der siebten Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Faserlaservorrichtung mit durch das Übertragungsmittel hindurch laufenden Schlaufen der Lichtleitfaser und mit schematisch angedeuteten Pumpmitteln.

In den Figuren sind gleiche oder funktional gleiche Teile mit gleichen Bezugszeichen versehen.

Das in Fig. 1 und Fig. 2 abgebildete Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Faserlaservorrichtung umfasst eine Lichtleitfaser 1, die in einer Mehrzahl von Schlaufen 2 oder Wicklungen

-10-

aufgewickelt ist. Die Schlaufen 2 verlaufen dabei so, dass sie wie in Fig. 2 abgebildet dicht gepackt angeordnet sind, wobei die dichte Packung der einzelnen Schlaufen 2 der Lichtleitfaser 1 einen im Wesentlichen kreisförmigen Umriss mit einem Durchmesser d_L aufweist.

In Fig. 2 sind 19 Schlaufen 2 angedeutet. Es besteht durchaus die Möglichkeit weniger Schlaufen oder aber auch mehr Schlaufen vorzusehen.

Die Lichtleitfaser 1 weist einen Faserkern 4 und einen diesen umgebenden Mantel 5 auf (siehe Fig. 14). In üblicher Weise weist der Mantel 5 einen etwas geringeren Brechungsindex auf als der Faserkern 4, so dass Licht in dem Faserkern 4 durch Totalreflexion geführt werden kann. Der Brechungsindexunterschied von Mantel 5 und Faserkern 4 kann beispielsweise 0,003 für $NA=0,1$ sein.

Der Faserkern 4 besteht aus einem laseraktiven Material oder umfasst ein laseraktives Material. Beispielsweise besteht der Faserkern 4 aus Glas, das mit Ionen seltener Erden, wie Ytterbium-, Neodym- oder Erbium-Ionen dotiert ist. Bei dem Glas kann es sich um Quarzglas handeln. Dabei kann auch der Mantel 5 aus Glas, insbesondere auch aus Quarzglas bestehen.

Der Faserkern 4 kann einen Durchmesser von einigen μm (single mode) bis zu 1000 μm und mehr aufweisen (beispielsweise 100 μm). Der Mantel 5 weist in der Regel eine geringere Dicke als der Faserkern auf (beispielsweise 10 μm der Mantel und 100 μm der Faserkern). Die Dicke des Mantels soll aus technologischen Gründen so klein wie möglich sein.

Die beiden Enden 6, 7 der Lichtleitfaser 1 sind im Bereich des Faserkerns 4 mit einer Beschichtung versehen, so dass

-11-

beispielsweise das in Fig. 1 linke Ende 6 hochreflektierend ist, beispielsweise 99,8%. Weiterhin kann das in Fig. 1 rechte Ende 7 der Lichtleitfaser 1 als Auskoppler dienen und einen geringeren Reflexionsgrad aufweisen. Es kann jedoch durchaus auch vorgesehen sein, dass beide Enden 6, 7 der Lichtleitfaser 1 derart gestaltet sind, dass aus Ihnen Laserstrahlung ausgekoppelt werden kann.

Die abgebildeten Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Faserlaservorrichtung umfassen weiterhin zwei Übertragungsmittel 8, durch die in Fig. 1 schematisch angedeutetes Pumplicht 9 in die Lichtleitfaser 1 eingekoppelt werden kann. Es besteht jedoch durchaus auch die Möglichkeit, mehr oder weniger Übertragungsmittel 8 vorzusehen.

In dem abgebildeten Ausführungsbeispiel wird ein jedes der Übertragungsmittel 8 von einer Seite mit Pumplicht 9 beaufschlagt. Dazu weist ein jedes der Übertragungsmittel 8 ein Fenster 22 oder eine Eintrittsfläche auf, durch die das Pumplicht 9 in das Übertragungsmittel 8 eintreten kann.

Es besteht durchaus die Möglichkeit, von zwei Richtungen Pumplicht 9 in das Übertragungsmittel 8 eintreten zu lassen, wie dies in Fig. 7 angedeutet ist. In diesem Fall sind zwei Fenster 22 oder Eintrittsflächen auf gegenüberliegenden Seiten des Übertragungsmittels 8 angeordnet.

Die Übertragungsmittel 8 sind in Umfangsrichtung der Schlaufen 2 zueinander beabstandet. Dabei verlaufen die Schlaufen 2 des Lichtleiters 1 bei den Ausführungsbeispielen gemäß den Fig. 1 bis Fig. 7 im Bereich der Übertragungsmittel 8 jeweils linear, wohingegen sie im Bereich zwischen den Übertragungsmitteln 8 eine Krümmung 25 in Umfangsrichtung aufweisen (siehe dazu Fig. 1).

-12-

Die Übertragungsmittel 8 können jeweils aus zwei Teilen bestehen, die insbesondere einander entsprechen und als identische oder spiegelverkehrte Hälften des jeweiligen Übertragungsmittels 8 ausgebildet sind. Es besteht jedoch durchaus die Möglichkeit, dass die Teile voneinander verschieden sind, wobei beispielsweise eines der Teile dicker, höher oder breiter als das andere der Teile ist.

Weiterhin besteht auch die Möglichkeit, die Übertragungsmittel 8 jeweils einstückig auszubilden.

Ein jedes der Übertragungsmittel ist zylindrisch geformt, wobei die Mantelfläche bis auf das Fenster 22 beziehungsweise die Eintrittsfläche hochreflektierend gestaltet ist, beispielsweise durch eine hochreflektierende Beschichtung 23. Das Fenster 22 beziehungsweise die Eintrittsfläche kann sich insbesondere in axialer Richtung über die gesamte Länge des Übertragungsmittels 8 erstrecken. Die Aufgabe der Übertragungsmittel 8 ist die Gewährleistung einer hohen Pumpleistung in der Zone, in der sich die Lichtleitfaser befindet. Die Abmessung der Übertragungsmittel 8 in Umfangsrichtung muss mehrere Male (1 bis 10 mal oder sogar größer) größer als der Durchmesser d_L der mindestens einen Lichtleitfaser 1 oder des Bündels von Lichtleitfasern 1 oder mehrerer Schlaufen 2 der mindestens einen Lichtleitfaser 1 sein. Die Länge der Übertragungsmittels 8 in axialer Richtung entspricht der gesamten Länge des Pumpstrahls und kann in einem weiten Bereich von einigen mm und mehr variieren. Beispielsweise kann die Länge der Übertragungsmittel 8 in axialer Richtung 100 mm betragen im Falle des Pumpens mit mehreren reihenweise angeordneten Laserdiodenbarren.

Ein jedes der Übertragungsmittel 8 kann als Substrat aus einem transparenten Material wie beispielsweise Quarz ausgebildet sein und

-13-

den gleichen Brechungsindex wie die Lichtleitfaser 1, insbesondere wie der Faserkern 4 oder der Mantel 5 der Lichtleitfaser 1 aufweisen.

Die Übertragungsmittel 8 können eine geschlossene hohlzylindrische Aufnahme 14 aufweisen, in der die Schlaufen 2 der Lichtleitfaser 1 angeordnet sind (siehe Fig. 10). Dabei kann der Innendurchmesser der Aufnahme 14 dem Durchmesser d_L der dichten Packung der einzelnen Schlaufen 2 der Lichtleitfaser 1 im Wesentlichen entsprechen. Die dichte Packung ist nicht notwendigerweise in der Mitte der Aufnahme 14 angeordnet. Die Übertragungsmittel 8 müssen nicht unbedingt einen kreisförmigen Querschnitt aufweisen. Zum Beispiel können die Übertragungsmittel 8 einen elliptischen Querschnitt aufweisen, bei dem sich in einem Brennpunkt der Ellipse das Bündel der Lichtleitfasern befindet, während das Pumplicht auf diesen oder den zweiten Brennpunkt fokussiert ist. Selbst wenn der Querschnitt der Übertragungsmittel 8 kreisförmig ist, muss das Bündel nicht unbedingt in der Mitte angeordnet sein, sondern kann zu der Mitte einen Abstand aufweisen, wobei das Pumplicht auf das Bündel oder auf die Mitte des Kreises fokussiert sein sollte.

Es besteht alternativ die Möglichkeit, als Übertragungsmittel einen Hohlzylinder zu verwenden, in dessen Mitte die dichte Packung der einzelnen Schlaufen 2 der Lichtleitfaser 1 verläuft. Dabei ist die innere Mantelfläche hochreflektierend bis auf ein Fenster 22.

Bei der zweiteiligen Ausbildung der Übertragungsmittel 8 können die beiden Teile jeweils auf der dem anderen Teil zugewandten Seite eine Ausnehmung aufweisen, die sich in Umfangsrichtung des Lichtleiters 1 erstreckt und insbesondere eine halbhohlzylindrische Form aufweist. Die Ausnehmungen der Teile ergänzen sich dabei zu der geschlossenen hohlzylindrischen Ausnehmung 14, die die Schlaufen 2 der Lichtleitfaser 1 umgibt.

-14-

In Fig. 1 sind schematisch Pumpmittel 15 angedeutet. Diese können als Pumplichtquelle einen Halbleiterlaser oder mehrere Halbleiterlaser, wie beispielsweise einen Laserdiodenbarren oder einen Stack von Laserdiodenbarren umfassen. Das als Pumplicht 9 dienende Laserlicht dieses Halbleiterlasers oder dieser Halbleiterlaser kann mit geeigneten Optiken kollimiert und in das mindestens eine Übertragungsmittel 8 eingekoppelt werden. Wegen des langgestreckten Fensters 22 sollte das Pumplicht 9 eine linienförmige Intensitätsverteilung aufweisen, die sich in axialer Richtung des Übertragungsmittels 8 erstreckt. Idealerweise weist die Intensitätsverteilung bei dem Eintritt in das Übertragungsmittel 8 in Linienquerrichtung eine Breite auf, die der Breite des Fensters 22 entspricht, insbesondere also beispielsweise etwa 100 μm . Weiterhin weist die Intensitätsverteilung idealerweise bei dem Eintritt in das Übertragungsmittel 8 in Linienlängsrichtung eine Länge auf, die der Länge des Übertragungsmittels 8 entspricht, insbesondere also beispielsweise etwa 100 mm.

Die Faserlaservorrichtung ist derart gestaltet, dass während des Betriebs der Faserlaservorrichtung das Pumplicht 9 in radialer Richtung der Übertragungsmittel 8 in diese eintritt (siehe Fig. 2). Die Abweichung vom Eintrittslot beträgt somit im Idealfall $\alpha=0^\circ$. Die reflektierende Beschichtungen 23 und der vorgenannte Winkel α bewirken, dass durch das Fenster 22 beziehungsweise die Eintrittsfläche eingetretenes Pumplicht 9 mehrfach im Inneren des Übertragungsmittels 8 hin und her reflektiert wird. Auf diese Weise durchdringt das Pumplicht 9 die Schlaufen 2 des Lichtleiters 1 sehr häufig, so dass die einzelnen Schlaufen 2 der Lichtleitfaser 1 und dabei insbesondere der Faserkern 4 sehr effektiv mit dem Pumplicht 9 beaufschlagt werden.

-15-

Es zeigt sich, dass insbesondere das Verhältnis $q=d_L/d_0$ zwischen dem Durchmesser d_L der mindestens einen Lichtleitfaser 1 oder des Bündels von Lichtleitfasern 1 oder der Schlaufen 2 der mindestens einen Lichtleitfaser 1 in dem mindestens einen Übertragungsmittel 8 und dem Durchmesser d_0 des mindestens einen Übertragungsmittels 8 wesentlich für die Effektivität des Faserlasers ist (siehe dazu Fig. 2). Es kann sinnvoll sein, dass das Verhältnis größer als 0,01 und kleiner als 1,0, vorzugsweise kleiner als 0,5, beispielsweise gleich 0,1 ist.

Beispielsweise kann der Durchmesser d_L der mindestens einen Lichtleitfaser 1 oder des Bündels von Lichtleitfasern 1 oder der Schlaufen 2 der mindestens einen Lichtleitfaser 1 etwa 1 mm bis 2 mm betragen. Weiterhin kann der Durchmesser d_0 des mindestens einen Übertragungsmittels 8 etwa 8 mm betragen.

Bei der Ausführungsform gemäß Fig. 3 bis Fig. 5 sind drei unterschiedliche Lichtleitfasern 1, 1', 1'' zu einem Bündel von Lichtleitfasern beziehungsweise Schlaufen 2, 2', 2'' von Lichtleitfasern zusammengefasst. Dabei ergeben sich drei als Auskoppler dienende Enden 7, 7', 7'' der Lichtleitfasern.

Es können mehr oder weniger als drei Lichtleitfasern 1, 1', 1'' zu einem Bündel zusammengefasst werden.

Bei der Ausführungsform gemäß Fig. 6 sind vier Übertragungsmittel 8 vorgesehen.

Bei der Ausführungsform gemäß den Fig. 8 und Fig. 9 sind die Schlaufen 2 der Lichtleitfaser 1 kreisförmig ausgebildet, so dass sich keine linearen Abschnitte ergeben. Daher ist ein einziges umlaufendes torusförmiges Übertragungsmittel 8 vorgesehen. Auch in Fig. 8 sind schematisch einzelne Pumpmittel 15 angedeutet. Es

-16-

können dabei mehr Pumpmittel 15 vorgesehen sein als abgebildet sind.

Das in den Fig. 11 bis 16 abgebildete siebte Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Faserlaservorrichtung umfasst eine Lichtleitfaser 1, die in einer Mehrzahl von Schlaufen 2 oder Wicklungen auf einen spulenähnlichen Halter 3 aufgewickelt ist. Die Schlaufen 2 verlaufen dabei so auf dem Halter 3, dass sie jeweils mit konstantem Abstand in axialer Richtung des Halters 3 beziehungsweise in vertikaler Richtung in Fig. 11 beabstandet zueinander übereinander angeordnet sind.

In Fig. 11 und Fig. 16 sind neun Schlaufen 2 angedeutet, wohingegen in Fig. 13 und Fig. 15 sieben Schlaufen 2 angedeutet sind. Es besteht durchaus die Möglichkeit weniger Schlaufen, wie beispielsweise zwei oder drei oder vier Schlaufen oder aber auch mehr Schlaufen, wie beispielsweise 10 oder 11 oder 12 oder mehr Schlaufen vorzusehen.

Die Lichtleitfaser 1 weist einen Faserkern 4 und einen diesen umgebenden Mantel 5 auf (siehe Fig. 14). In üblicher Weise weist der Mantel 5 einen etwas geringeren Brechungsindex auf als der Faserkern 4, so dass Licht in dem Faserkern 4 durch Totalreflexion geführt werden kann. Der Brechungsindexunterschied von Mantel 5 und Faserkern 4 kann beispielsweise in der Größenordnung von ungefähr 0,003 liegen.

Der Faserkern 4 besteht aus einem laseraktiven Material oder umfasst ein laseraktives Material. Beispielsweise besteht der Faserkern 4 aus Glas, das mit Ionen seltener Erden, wie Ytterbium-, Neodym- oder Erbium-Ionen dotiert ist. Bei dem Glas kann es sich um Quarzglas handeln. Dabei kann auch der Mantel 5 aus Glas, insbesondere auch aus Quarzglas bestehen.

-17-

Die beiden Enden 6, 7 der Lichtleitfaser 1 sind im Bereich des Faserkerns 4 mit einer Beschichtung versehen, so dass beispielsweise das in Fig. 11 rechte Ende 6 hochreflektierend ist, beispielsweise im Bereich zwischen 99% und 100%. Weiterhin kann das in Fig. 11 linke Ende 7 der Lichtleitfaser 1 als Auskoppler dienen und einen geringeren Reflexionsgrad aufweisen. Es kann jedoch durchaus auch vorgesehen sein, dass beide Enden 6, 7 der Lichtleitfaser 1 derart gestaltet sind, dass aus Ihnen Laserstrahlung ausgekoppelt werden kann.

Die abgebildeten Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Faserlaservorrichtung umfassen weiterhin eine Mehrzahl von Übertragungsmitteln 8, durch die in Fig. 11 schematisch angedeutetes Pumplicht 9 in die Lichtleitfaser 1 eingekoppelt werden kann. In den abgebildeten Ausführungsbeispielen sind sechs Übertragungsmittel 8 vorgesehen. Es besteht jedoch durchaus auch die Möglichkeit, mehr oder weniger Übertragungsmittel 8 vorzusehen.

Die Übertragungsmittel 8 sind in Umfangsrichtung des Halters 3 zueinander beabstandet. Dabei verlaufen die Schlaufen 2 des Lichtleiters 1 im Bereich der Übertragungsmittel 8 jeweils linear, wohingegen sie im Bereich zwischen den Übertragungsmitteln 8 eine Krümmung 25 in Umfangsrichtung aufweisen (siehe dazu Fig. 12).

Aus Fig. 13 und Fig. 15 ist ersichtlich, dass die Übertragungsmittel 8 jeweils aus zwei Teilen 10, 11 bestehen, die insbesondere einander entsprechen und als identische oder spiegelverkehrte Hälften des jeweiligen Übertragungsmittels 8 ausgebildet sind. Es besteht jedoch durchaus die Möglichkeit, dass die Teile 10, 11 voneinander verschieden sind, wobei beispielsweise eines der Teile 10, 11 dicker, höher oder breiter als das andere der Teile 10, 11 ist. Weiterhin können sie sich auch durch andere Eigenschaften wie die Anordnung

-18-

im Nachfolgenden noch näher beschriebener reflektierender Beschichtungen unterscheiden.

Ein jedes der Teile 10, 11 weist auf seinem dem anderen Teil 10, 11 zugewandten Seite eine Mehrzahl von Ausnehmungen 12, 13 auf, die sich in Umfangsrichtung des Lichtleiters 1 erstrecken und insbesondere eine halbhohlzylindrische Form aufweisen. Jeweils die auf gleicher Höhe der Teile 10, 11 der Übertragungsmittel 8 angeordneten Ausnehmungen 12, 13 der Teile 10, 11 ergänzen sich zu einer geschlossenen hohlzylindrischen Ausnehmung 14, die eine der Schlaufen 2 der Lichtleitfaser 1 umgibt. Die Schlaufen 2 der Lichtleitfasern 1 verlaufen also im Bereich der Übertragungsmittel 8 im Inneren dieser Übertragungsmittel 8 (siehe Fig. 15).

Die Ausnehmungen 12, 13 sind insbesondere so gestaltet, dass ihr Innendurchmesser vergleichsweise exakt dem Außendurchmesser der Lichtleitfaser 1 entspricht. Insbesondere beträgt die Abweichung des Innendurchmessers der Ausnehmungen 12, 13 von dem Außendurchmesser der Lichtleitfaser 1 weniger als 50 µm, insbesondere weniger als 30 µm, beispielsweise zwischen 10 µm und 20 µm. Die Teile 10, 11 der Übertragungsmittel 8 können den gleichen Brechungsindex wie die Lichtleitfaser 1, insbesondere wie der Faserkern 4 oder der Mantel 5 der Lichtleitfaser 1 aufweisen. Beispielsweise können die Teile 10, 11 der Übertragungsmittel 8 aus Glas, insbesondere aus Quarzglas bestehen.

In dem Halter 3 ist jeweils in dem Bereich der Übertragungsmittel 8 ein Rücksprung 14 nach innen vorgesehen, in dem ein Teil 10 der Übertragungsmittel 8 angeordnet ist (siehe Fig. 11 und Fig. 12). Auf diese Weise wird erreicht, dass die Lichtleitfaser 1 ohne radiale Versetzung von dem Bereich zwischen den Übertragungsmitteln 8 in das jeweilige Übertragungsmittel 8 hinein verläuft (siehe Fig. 12).

-19-

In Fig. 16 sind schematisch Pumpmittel 15 angedeutet. Diese können als Pumplichtquelle einen Halbleiterlaser oder mehrere Halbleiterlaser, wie beispielsweise einen Laserdiodenbarren oder einen Stack von Laserdiodenbarren umfassen. Das als Pumplicht 9 dienende Laserlicht dieses Halbleiterlasers oder dieser Halbleiterlaser kann mit geeigneten Optiken kollimiert und in das mindestens eine Übertragungsmittel 8 eingekoppelt werden.

Die in Fig. 15 und Fig. 16 abgebildete Ausführungsform eines Übertragungsmittels 8 weist eine flache, quaderförmige Gestalt auf. Das Übertragungsmittel 8 weist zwei seitliche Stirnseiten 16, 17 für den Eintritt und den Austritt der Schlaufen 2 der Lichtleitfaser 1 auf. Weiterhin weist das Übertragungsmittel 8 eine in Fig. 15 und Fig. 16 obere und eine in Fig. 15 und Fig. 16 untere Stirnseite 18, 19 auf. Weiterhin weist das Übertragungsmittel 8 eine in Fig. 15 vordere flächige Seite 20 und eine in Fig. 15 hintere flächige Seite 21 auf.

Die in Fig. 15 und Fig. 16 obere Stirnseite 18 ist bis auf einen kleinen, als Eintrittsfläche 22 für das Pumplicht 9 dienenden Abschnitt mit einer reflektierenden Beschichtung 23 versehen. Die in Fig. 15 und Fig. 16 untere Stirnseite 19 ist komplett mit einer reflektierenden Beschichtung 24 versehen.

Es besteht durchaus die Möglichkeit, zusätzlich zu den in Fig. 15 und Fig. 16 oberen und unteren Stirnseiten 18, 19 weitere Seiten, wie die in Fig. 15 und Fig. 16 rechten und linken Stirnseiten 16, 17 oder die in Fig. 15 und Fig. 16 vorderen und hinteren flächigen Seiten 20, 21 mit reflektierenden Beschichtungen zu versehen.

Die Faserlaservorrichtung ist derart gestaltet, dass während des Betriebs der Faserlaservorrichtung das Pumplicht 9 unter einem Winkel α , beispielsweise unter einem Winkel α zwischen 5° und 10°

-20-

zum Lot auf der Eintrittsfläche 22 in das mindestens eine Übertragungsmittel 8 eingekoppelt wird. Die reflektierenden Beschichtungen 23, 24 und der vorgenannte Winkel α bewirken, dass durch die Eintrittsfläche 22 eingetretenes Pumplicht 9 mehrfach im Inneren des Übertragungsmittels 8 zwischen der in Fig. 15 und Fig. 16 unteren und der in Fig. 15 und Fig. 16 oberen Stirnseite 18, 19 hin und her reflektiert wird. Auf diese Weise durchdringt das Pumplicht 9 die Schleifen 2 des Lichtleiters 1 mehrfach.

Fig. 15 zeigt dabei, dass das auf die Eintrittsfläche 22 auftreffende Lichtbündel des Pumplichts 9 die gesamte Tiefe der Eintrittsfläche 22 in radialer Richtung des Halters 3 beziehungsweise in der sich in die Zeichenebene der Fig. 15 und Fig. 16 hinein erstreckenden Richtung abdeckt. Aufgrund des im Wesentlichen gleichen Brechungsindex des Übertragungsmittels 8 und der Lichtleitfaser 1 kann sich das Pumplicht 9 im Inneren des Übertragungsmittels 8 vergleichsweise ungehindert ausbreiten, so dass die einzelnen Schleifen 2 der Lichtleitfaser 1 und dabei insbesondere der Faserkern 4 sehr effektiv mit dem Pumplicht 9 beaufschlagt werden.

-21-

Patentansprüche:

1. Faserlaservorrichtung, umfassend

- eine Lichtleitfaser (1) mit einem Faserkern (4), der aus einem laseraktiven Material besteht oder ein laseraktives Material umfasst, wobei die Lichtleitfaser (1) schlaufenartig aufgewickelt ist,
- Pumpmittel (15) für das optische Pumpen des Faserkerns (4) mit Pumplicht (9),

dadurch gekennzeichnet, dass die Pumpmittel (15) derart gestaltet sind, dass das Pumplicht (9) während des Betriebs der Faserlaservorrichtung seitlich von außen in die Lichtleitfaser (1) eintritt.

2. Faserlaservorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Pumpmittel (15) mindestens ein Übertragungsmittel (8) umfassen, in das während des Betriebs der Faserlaservorrichtung Pumplicht (9) eingebracht wird und aus dem oder in dem das Pumplicht (9) in die mindestens eine Lichtleitfaser (1) eingekoppelt wird, und wobei das mindestens eine Übertragungsmittel (8) oder jedes der Übertragungsmittel (8) eine Ausnehmung (14) oder einen Hohlraum für den Hindurchtritt eines Bündels von Lichtleitfasern (1) oder mehrerer Schlaufen (2) der mindestens einen Lichtleitfaser (1) aufweist oder aufweisen.

3. Faserlaservorrichtung nach einem der Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Pumpmittel (15) derart gestaltet sind, dass während des Betriebs der Faserlaservorrichtung mehrere Wicklungen oder Schlaufen (2)

-22-

der schlaufenartig aufgewickelten Lichtleitfaser (1) gleichzeitig gepumpt werden.

4. Faserlaservorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
dadurch gekennzeichnet, dass die Pumpmittel (15) mindestens ein, insbesondere mehrere Übertragungsmittel (8) umfassen, in das während des Betriebs der Faserlaservorrichtung Pumplicht (9) eingekoppelt wird und aus dem das Pumplicht (9) in die Lichtleitfaser (1) eingekoppelt wird.
5. Faserlaservorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4,
dadurch gekennzeichnet, dass die mehreren Übertragungsmittel (8) voneinander beabstandet sind, insbesondere über den Umfang der Wicklungen oder Schlaufen (2) der schlaufenartig aufgewickelten Lichtleitfaser (1) voneinander beabstandet sind.
6. Faserlaservorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5,
dadurch gekennzeichnet, dass das mindestens eine Übertragungsmittel (8) mindestens eine, vorzugsweise mehrere Ausnehmungen (12, 13) für den Hindurchtritt der Lichtleitfaser (1) aufweist.
7. Faserlaservorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6,
dadurch gekennzeichnet, dass das mindestens eine Übertragungsmittel (8) eine Ausnehmung (14) oder einen Hohlraum für den Hindurchtritt der Lichtleitfaser (1) oder eines Bündels von Lichtleitfasern (1) oder mehrerer Schlaufen (2) der Lichtleitfaser (1) aufweist.
8. Faserlaservorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7,
dadurch gekennzeichnet, dass das mindestens eine

-23-

Übertragungsmittel (8) die Lichtleitfaser (1) auf Teillängen umgibt.

9. Faserlaservorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** das mindestens eine Übertragungsmittel (8) das Bündel von Lichtleitfasern (1) oder mehrere Schlaufen (2) der Lichtleitfaser (1) auf Teillängen umgibt.
10. Faserlaservorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Brechungsindex des mindestens einen Übertragungsmittels (8) im Wesentlichen gleich dem Brechungsindex der Lichtleitfaser (1), insbesondere im Wesentlichen gleich dem Brechungsindex des Faserkerns (4), ist.
11. Faserlaservorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** das mindestens eine Übertragungsmittel (8) ein Substrat umfasst oder aus einem Substrat besteht, durch das das Pumplicht (9) hindurchtritt.
12. Faserlaservorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Brechungsindex des Substrats des mindestens einen Übertragungsmittels (8) im Wesentlichen gleich dem Brechungsindex der Lichtleitfaser (1), insbesondere im Wesentlichen gleich dem Brechungsindex des Faserkerns (4), ist.
13. Faserlaservorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** das mindestens eine Übertragungsmittel (8) zumindest abschnittsweise hohl ist, insbesondere zumindest abschnittsweise eine hohlzylindrische Form aufweist.

-24-

14. Faserlaservorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 13,
dadurch gekennzeichnet, dass das mindestens eine Übertragungsmittel (8) einstückig ausgebildet ist.
15. Faserlaservorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 14,
dadurch gekennzeichnet, dass das mindestens eine Übertragungsmittel (8), insbesondere dass jedes der Übertragungsmittel (8), aus zwei Teilen, vorzugsweise aus zwei Hälften, besteht oder zwei Teile, vorzugsweise zwei Hälften, umfasst.
16. Faserlaservorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 15,
dadurch gekennzeichnet, dass die beiden Teile einander korrespondierende Ausnehmungen (12, 13) für den Hindurchtritt der Lichtleitfaser (1) aufweisen.
17. Faserlaservorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 16,
dadurch gekennzeichnet, dass die beiden Teile einander korrespondierende Ausnehmungen für den Hindurchtritt der des Bündels von Lichtleitfasern (1) oder mehrerer Schlaufen (2) der Lichtleitfaser (1) aufweisen.
18. Faserlaservorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 17,
dadurch gekennzeichnet, dass das mindestens eine Übertragungsmittel (8) derart gestaltet ist, dass das während des Betriebs der Faserlaservorrichtung eingekoppelte Pumplicht (9) mindestens eine Reflexion, vorzugsweise mehrere Reflexionen, in dem mindestens eine Übertragungsmittel (8) erfährt, wodurch die Pumpeffektivität erhöht wird.
19. Faserlaservorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 18,
dadurch gekennzeichnet, dass das mindestens eine Übertragungsmittel (8) mindestens einen hochreflektierenden

-25-

Bereich, insbesondere mindestens einen Bereich mit einer hochreflektierenden Beschichtung (23), aufweist.

20. Faserlaservorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 19, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Faserlaservorrichtung derart gestaltet ist, dass während des Betriebs der Faserlaservorrichtung das Pumplicht (9) unter einem Winkel (α) in das mindestens eine Übertragungsmittel (8) eingekoppelt wird.
21. Faserlaservorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 20, **dadurch gekennzeichnet, dass** das mindestens eine Übertragungsmittel (8) einen Bereich, insbesondere ein Fenster (22) oder eine Eintrittsfläche, für den Eintritt des Pumplichts (9) aufweist, wobei dieser Bereich deutlich kleiner als der mindestens eine hochreflektierende Bereich ist.
22. Faserlaservorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 21, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Innendurchmesser der mindestens einen Ausnehmung (12, 13) in dem mindestens einen Übertragungsmittel (8) im Wesentlichen dem Außendurchmesser der Lichtleitfaser (1) entspricht, vorzugsweise dass der Innendurchmesser der mindestens einen Ausnehmung (12, 13) weniger als 50 μm , insbesondere weniger als 30 μm , beispielsweise zwischen 10 μm und 20 μm größer als der Außendurchmesser der Lichtleitfaser (1) ist.
23. Faserlaservorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 22, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Innendurchmesser der mindestens einen Ausnehmung (14) in dem mindestens einen Übertragungsmittel (8) im Wesentlichen dem Außendurchmesser (d_L) der Lichtleitfaser (1) oder des Bündels von

-26-

Lichtleitfasern (1) oder der mehreren Schlaufen (2) der Lichtleitfaser (1) entspricht.

24. Faserlaservorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 23, **dadurch gekennzeichnet, dass** für das Verhältnis $q = d_L/d_0$ zwischen

- dem Durchmesser (d_L) der Lichtleitfaser (1) oder des Bündels von Lichtleitfasern (1) oder der Schlaufen (2) der mindestens einen Lichtleitfaser (1) in dem mindestens einen Übertragungsmittel (8) und
- dem Durchmesser (d_0) des mindestens einen Übertragungsmittels (8) gilt:

$0,01 < q < 1,0$, insbesondere $0,05 < q < 0,5$, beispielsweise $q = 0,1$.

25. Faserlaservorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 24, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Faserlaservorrichtung eine oder mehrere Lichtleitfasern (1, 1', 1'') umfasst.

26. Faserlaservorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 25, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Pumpmittel (15) mindestens ein Übertragungsmittel (8) umfassen, in das während des Betriebs der Faserlaservorrichtung Pumplicht (9) eingebracht wird und aus dem oder in dem das Pumplicht (9) in die mindestens eine Lichtleitfaser (1) eingekoppelt wird, wobei das mindestens eine Übertragungsmittel (8) die mindestens eine Lichtleitfaser (1) oder das Bündel von Lichtleitfasern (1) oder mehrere Schlaufen (2) der mindestens einen Lichtleitfaser (1) zumindest auf Teillängen umgibt, wobei das mindestens eine Übertragungsmittel (8) zylindrisch geformt ist und wobei die

-27-

Faserlaservorrichtung derart gestaltet ist, dass während des Betriebs der Faserlaservorrichtung das Pumplicht (9) in radialer Richtung des mindestens einen zylindrischen Übertragungsmittels (8) oder unter einem Winkel (α) kleiner 90° , insbesondere kleiner 45° , vorzugsweise kleiner 30° zu der radialen Richtung in das mindestens eine Übertragungsmittel (8) eingekoppelt wird.