



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2004 051 294 A1** 2006.04.27

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2004 051 294.9**

(22) Anmeldetag: **20.10.2004**

(43) Offenlegungstag: **27.04.2006**

(51) Int Cl.⁸: **C03B 23/047** (2006.01)

C03B 20/00 (2006.01)

H01S 3/17 (2006.01)

H01S 3/067 (2006.01)

(71) Anmelder:

Heraeus Tenevo GmbH, 63450 Hanau, DE

(74) Vertreter:

**Staudt, A., Dipl.-Ing. Univ., Pat.-Anw., 63674
Altenstadt**

(72) Erfinder:

**Vydra, Jan, 63456 Hanau, DE; Schötz, Gerhard,
63741 Aschaffenburg, DE**

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

DE 195 17 952 A1

DE 4 72 315 A

US 61 78 187 B1

EP 08 40 410 B1

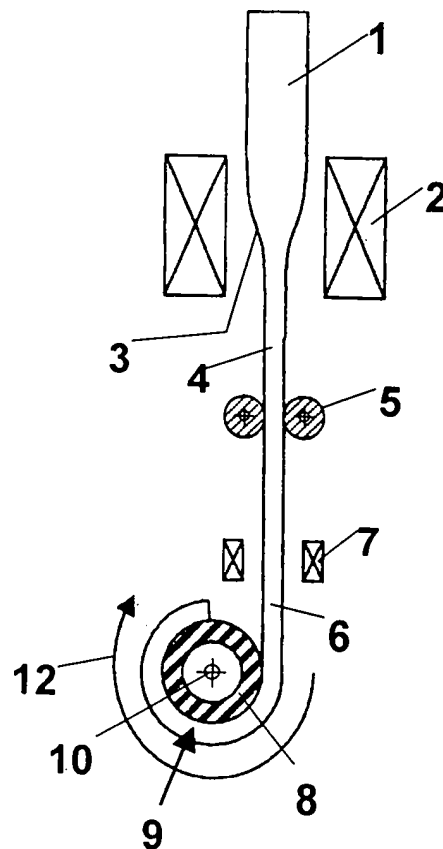
WO 95/23 771

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Herstellung eines Bauteils aus Quarzglas für einen Laser sowie Laserbauteil**

(57) Zusammenfassung: Bei einem bekannten Verfahren zur Herstellung eines Bauteils aus Quarzglas für einen Laser wird ein zylinderförmiges Formteil mit einem Kern aus laseraktivem Quarzglas erzeugt, das eine Zylinder-Mantelfläche und ein stirnseitiges Auskoppelende für Laserstrahlung aufweist und das zu einer Wicklungsanordnung geformt und in dieser Form fixiert wird. Um hiervon ausgehend ein einfaches und kostengünstiges Verfahren für die Herstellung eines Laserbauteils aus laseraktivem Quarzglas anzugeben, in welches Pumplicht mit hohem Wirkungsgrad über den Zylindermantel in den Kernbereich eingekoppelt werden kann, wird erfindungsgemäß vorgeschlagen, dass das zylinderförmige Formteil beim Formen der Wicklungsanordnung eine Temperatur oberhalb einer Verformungstemperatur aufweist, bei der das Quarzglas plastisch verformbar ist. Ein gemäß der Erfindung ausgebildetes Laserbauteil zeichnet sich durch eine Wicklungsanordnung aus, die selbsttragend aus einem plastisch verformten Formteil ausgebildet ist.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines Bauteils aus Quarzglas für einen Laser, indem ein zylinderförmiges Formteil mit einem Kern aus laseraktivem Quarzglas erzeugt wird, das eine Zylinder-Mantelfläche und ein stirnseitiges Auskoppelende für Laserstrahlung aufweist, und das zu einer Wicklungsanordnung geformt und in dieser Form fixiert wird.

[0002] Weiterhin betrifft die Erfindung ein Laserbauteil, umfassend ein in Form einer Wicklungsanordnung fixiertes, zylinderförmiges Formteil mit einem Kern aus laseraktivem Quarzglas, das eine Zylinder-Mantelfläche und ein stirnseitiges Auskoppelende für Laserstrahlung aufweist.

[0003] Laseraktives Quarzglas enthält Dotierstoffe, die eine Abgabe oder eine Verstärkung von Laserstrahlung im Wirtsmaterial Quarzglas bewirken. Dabei handelt es sich in der Regel um Seltenerd-Kationen (Lanthanoide) oder um Kationen der sogenannten Übergangsmetalle.

[0004] In der Kommunikationstechnologie werden Bauteile aus laseraktivem Quarzglas beispielsweise als sogenannte Faserverstärker eingesetzt. Faserverstärker können Verluste in Lichtwellenleitern bei der optischen Datenübertragung ausgleichen, indem durch sogenanntes „optisches Pumpen“ Laserlicht in den Faserkern eingekoppelt wird, das laseraktive Ionen im Quarzglas anregt. Der durch der Faserkern laufende Lichtpuls nimmt Energie von den angeregten Ionen zusätzlich auf und wird dadurch verstärkt. Alternativ dazu können die laseraktiven Ionen durch das eingekoppelte Pumplicht auch selbst zur Abgabe von Laserlicht angeregt werden, wie dies bei Hochleistungs-Faserlasern der Fall ist.

[0005] Ein besonderes Augenmerk liegt stets darauf, eine möglichst hohe Ausgangsleistung und damit einhergehend, ein großes laseraktives Querschnittsvolumen bereit stellen zu können, so dass in der Regel Fasern mit großem Außendurchmesser eingesetzt werden.

[0006] Im einfachsten Fall wird das Pumplicht stirnseitig in die Faser eingekoppelt und im Kern der Faser durch Totalreflexion geführt, so dass es den Kernbereich der Faser wiederholt durchläuft. Allerdings ist der Kerndurchmesser einer optischen Faser klein, so dass sich über die Stirnfläche der Faser nur wenig Pumplicht in den Faserkern einkoppeln lässt.

[0007] Um die Anregungsenergie zu vergrößern, ist es daher allgemein bekannt, Pumplicht über die Mantelfläche der Faser in den Faserkern einzukoppeln. Wegen der Länge der Faser ist die Mantelfläche um ein Vielfaches größer als die Faser-Stirnfläche. Diese

Verfahrensweise trifft jedoch auf die im Folgenden erläuterten Schwierigkeiten:

Das Pumplicht passiert den Faserkern nur einmal, so dass dessen Energie in der Regel nicht vollständig absorbiert wird und daher teilweise ungenutzt bleibt.

Stand der Technik

[0008] Um diesen Nachteil zu verringern, wird in der EP 0 840 410 B1 eine optische Vorrichtung der eingangs genannten Gattung vorgeschlagen, bei der der optische Leiter in Konglomeratform durch wiederholtes Falten und Wickeln angeordnet ist. Zur Fixierung des Faser-Konglomerats wird ein UV-härtbares und für die Anregungswellenlänge transparentes Harz eingesetzt. Alternativ dazu wird auch eine Ausführungsform vorgeschlagen, bei der die Faser als flache Spirale aufgewickelt und zwischen zwei runden Glasplatten mit einem Außendurchmesser von 15 cm und einer Dicke von 1 mm sandwichartig eingeschlossen wird. Diese Sandwich-Anordnung wird anschließend bei einem Druck von 50 bar und einer Temperatur von 1500°C behandelt, so dass sich die Glasplatten plastisch verformen, die Lücken der Faserspirale auffüllen, und diese so fixieren. Die in Konglomeratform fixierte optische Faserspirale wird über ihre Mantelfläche mit dem Pumplicht bestrahlt.

[0009] Eine weitere Vorrichtung dieser Art wird auch in der US 6,178,187 B1 vorgeschlagen. Als Konglomeratform wird hier beispielsweise ein Knäuel in Form einer losen, unregelmäßigen Anhäufung der Glasfaser oder eine regelmäßige Wicklungsanordnung in Form einer Spule vorgeschlagen. Die mechanische Fixierung der Konglomeratform erfolgt durch ein Einbetten in einem UV-härtbarem Harz oder in einem Zink- oder Aluminiumblock.

[0010] Optische Fasern werden üblicherweise beim Ziehen direkt mit einem aus Kunststoff bestehenden Schutzmantel versehen, der die Faseroberfläche vor mechanischer Beschädigung und vor chemischem Angriff schützt. Auslöser von Faserbrüchen sind fast ausnahmslos Beschädigungen der Oberfläche. Eine Faser mit ungeschützter Faseroberfläche ist nur schwer handhabbar und hält nur geringen mechanischen Belastungen stand. Eine unter mechanischer Spannung stehende Oberfläche altert außerdem schnell, etwa durch chemische Reaktionen des SiO₂ mit Wasser. Gerade bei kleinen Biegeradien und einer dementsprechend stark mechanisch vorgespannten Faser führen von der Oberfläche ausgehende Beschädigungen oder chemische Angriffe (Alterung) daher rasch zum Faserbruch, so dass der Schutzmantel eine deutliche Verlängerung der Lebensdauer im Vergleich zu einer ungemantelten Faser mit sich bringt. Ähnlich wirken die oben beschriebenen Fixierungsmassen für die Fixierung der Fasern in Konglomeratform. Allerdings behindern sowohl der Schutzmantel als auch derartige Fixierungs-

massen das seitliche Einkoppeln des Pumplichts. Außerdem wird die Einsatztemperatur der Fasern auf Temperaturen unterhalb des Zersetzungs- oder Schmelzpunktes des Kunststoffes bzw. der Fixierungsmasse begrenzt, woraus sich gleichzeitig eine Beschränkung in Bezug auf die maximal mögliche Pumpleistung ergibt.

[0011] Ein weiteres Problem besteht darin, dass gerade optische Fasern, die im Hinblick auf eine möglichst hohe Leistungsabgabe einen großen Kernquerschnitt aufweisen, wegen ihres größeren Außendurchmessers einen geringen minimalen Biegeradius haben. Enge Wicklungen zur Erzeugung kompakter und dichter Konglomeratformen sind deshalb mit diesen Fasern nicht ohne weiteres realisierbar. Es können dabei Faserbrüche und Beeinträchtigungen der Lichtführung im Faserkern durch Spannungsdoppelbrechung auftreten.

[0012] In der WO 95/23771 ist ein Halter zur Herstellung von optischen Faserspulen für den „Faraday-Effekt“ beschrieben. Durch Aufwickeln einer Monomode-Faser wird eine Faserspule erzeugt, die in den Halter eingelegt, und anschließend bei hoher Temperatur in einem Ofen, beispielsweise im Bereich zwischen 550° bis 1250°C, mehrere Stunden lang getempert wird. Dabei werden die vorhandenen Biegespannungen und eine damit einhergehende Spannungsdoppelbrechung im Quarzglas der Faserspule abgebaut.

[0013] Auch bei diesem Verfahren ist der anfängliche Außendurchmesser der Faserspule durch den minimalen Biegeradius der verwendeten optischen Faser nach unten begrenzt.

Aufgabenstellung

[0014] Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein einfaches und kostengünstiges Verfahren für die Herstellung eines Laserbauteils aus laseraktivem Quarzglas anzugeben, in welches Pumplicht mit hohem Wirkungsgrad über den Zylindermantel in den Kernbereich eingekoppelt werden kann. Weiterhin liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein derartiges Laserbauteil aus laseraktivem Quarzglas bereitzustellen.

[0015] Hinsichtlich des Verfahrens wird diese Aufgabe ausgehend von dem eingangs genannten Verfahren erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass das zylinderförmige Formteil beim Anordnen zu der Wicklungsanordnung eine Temperatur oberhalb einer Verformungstemperatur aufweist, bei der das Quarzglas plastisch verformbar ist.

[0016] Das herzustellende Bauteil wird von einer Wicklungsanordnung gebildet, in der das zylinderförmige Formteil als möglichst kompakte Anhäufung in

geordneter oder in ungeordneter Form vorliegt, und die dem Zweck dient, über die Zylinder-Mantelfläche des zylinderförmigen Formteils eingestrahletes Pumplicht möglichst effektiv zu nutzen. Folgende Aspekte sind beim erfindungsgemäßen Verfahren bei der Erfüllung dieses Zwecks besonders wichtig:

- Zum Einen ermöglicht das erfindungsgemäße Verfahren bei der Herstellung der Wicklungsanordnung besonders enge Biegeradien. Dies wird dadurch erreicht, dass das Quarzglas beim Herstellen der Wicklungsanordnung auf eine Temperatur erhitzt ist, bei der es plastisch verformbar ist. Die plastische Verformung ermöglicht es, auch zylinderförmigen Formteilen mit großem Durchmesser beliebig enge Biegeradien aufzuprägen, ohne dass es zur Ausbildung übermäßiger Spannungen oder gar zu Brüchen kommt.
- Zum Andern kann auf eine ansonsten zum Schutz der optischen Faser notwendige Ummantelung des Formteils verzichtet werden. Denn infolge der plastischen Verformung bei der Herstellung der Wicklungsanordnung weist das Formteil keine oder nur geringe mechanische Spannungen auf, so dass spannungsinduzierte Brüche und Alterungseffekte nicht auftreten. Auch werden bei der Herstellung des Formteils und beim Wickeln erzeugte Oberflächenbeschädigungen wenigstens teilweise aufgeschmolzen und dadurch eliminiert. Die Erfindung eröffnet somit erstmals die Möglichkeit enge Biegeradien (auch bei großem Faserdurchmesser) ohne Schutzmantel zu realisieren.
- Weiterhin ist auch eine mechanische Fixierung der Wicklungsanordnung mittels einer Fixierungsmasse oder einer Halterung – wie aus dem Stand der Technik bekannt – nicht erforderlich. Derartige Fixierungsmittel behindern das seitliche Einkoppeln von Pumplicht in den Fasermantel; wobei eine Fixierungsmasse in dieser Hinsicht ähnlich nachteilig wie ein Kunststoff-Schutzmantel wirkt. Demgegenüber ist die plastisch verformte Wicklungsanordnung auch ohne Stütz- und Fixierungsmaßnahmen formstabil, eine Eigenschaft, die im Folgenden als „selbsttragend“ bezeichnet wird.

[0017] Bei dem zylinderförmigen Formteil handelt es sich um einen Strang mit beliebigem radialem Querschnitt, insbesondere um eine Faser, einen Stab oder um ein hohlzylindrisches Bauteil mit zentralen Kernbereich aus laseraktivem Quarzglas. Der Kernbereich kann von einem oder mehreren Mantelglas-schichten aus dotiertem oder undotiertem Quarzglas umgeben sein.

[0018] Die Verformungstemperatur ist eine Temperatur, oberhalb der die Relaxationszeiten für die Umordnung der Glasstruktur in der Größenordnung der in der Praxis gewählten Verformungsdauern liegen. Die erforderliche Verformungstemperatur hängt von der Dotierung des Quarzglases und von den Verfor-

mungsgeschwindigkeiten beim Formen der Wicklungsanordnung ab. Bei geringen Verformungsgeschwindigkeiten (lange Verformungsdauer) genügt eine geringere Temperatur. Wesentlich ist, dass das Formteil bei der Verformungstemperatur in endlichen Zeiten plastisch verformbar ist, ohne dass Spannungen in nennenswertem Umfang auftreten. Geeignete Verformungstemperaturen sind anhand weniger Versuche leicht zu ermitteln und liegen unterhalb von 1680°C.

[0019] Die als „selbsttragend“ bezeichnete Eigenschaft der Wicklungsanordnung schließt eine Halterung beim Einsatz in einem Laserbauteil nicht aus, in Folge der es auch zu einer elastischen Verformung der Wicklungsanordnung kommen kann. Beispielsweise wird die Wicklungsanordnung zwischen Halteteilen eingespannt und dabei elastisch verformt, oder sie kann sich infolge ihres eigenen Gewichts elastisch verformen. Dabei handelt es sich aber in der Regel um elastische Verformungen der plastisch verformten, selbsttragenden Wicklungsanordnung insgesamt.

[0020] Das zylinderförmige Formteil weist einen Kernbereich auf, der aus Quarzglas besteht, das mit laseraktiven Ionen dotiert ist. Der SiO₂-Anteil des Kern-Quarzglas überwiegt jedoch bei weitem alle anderen Bestandteile und beträgt mindestens 85 Gew.-%. Der Kernbereich ist im radialen Querschnitt kreis- oder ringförmig ausgebildet und von mindestens einem Mantelglas umgeben.

[0021] Besonders vorteilhaft gestaltet sich eine Verfahrensweise, bei der das zylinderförmige Formteil aus einem Halbzeug gezogen und beim Ziehen in einem auf die Verformungstemperatur erhitzten Zustand unter Bildung der Wicklungsanordnung auf einen Träger aufgewickelt wird.

[0022] Bei dem Halbzeug handelt es sich um eine massive, so genannte Vorform, aus der optische Fasern gezogen werden, oder es handelt sich um eine koaxiale Anordnung aus mehreren, zylinderförmigen Quarzglas-Bauteilen, umfassend einen Quarzglas-Kernstab und mindestens ein den Kernstab umhüllendes Mantelrohr.

[0023] Die Herstellung des zylinderförmigen Formteils durch Elongieren des Halbzeugs und das Herstellen der Wicklungsanordnung erfolgen hierbei in einem Arbeitsgang. Das Halbzeug wird in einer Erhitzungszone von einem Ende beginnend zonenweise erweicht und aus dem erweichten Bereich unter Bildung einer Ziehzwiebel das zylinderförmige Formteil als Quarzglasstrang abgezogen.

[0024] Das Formen der Wicklungsanordnung aus dem abgezogenen Formteil kann in einem Bereich unmittelbar unterhalb der Ziehzwiebel erfolgen, in dem das Formteil noch plastisch verformbar ist. Es

hat sich aber auch eine andere Verfahrensweise als besonders vorteilhaft erwiesen, bei welcher das aus dem Halbzeug gezogene Formteil zunächst abgekühlt und vor dem Aufwickeln auf den Träger auf die Verformungstemperatur erhitzt wird.

[0025] Beim Abkühlen erstarrt das zylinderförmige Formteil und nimmt dabei im Bereich unterhalb der Ziehzwiebel seine endgültige Querschnittsform ein. Dabei kann kontrolliert werden, ob eine vorgegebene Sollgeometrie eingehalten ist, und erforderlichenfalls kann nachgeregelt werden. Erst danach wird das zylinderförmige Formteil auf eine Temperatur oberhalb der Verformungstemperatur gebracht und zu der Wicklungsanordnung geformt.

[0026] Bei einer alternativen und gleichermaßen bevorzugten Verfahrensweise wird das zylinderförmige Formteil aus einem Halbzeug gezogen, in einem separaten Verfahrensschritt auf die Verformungstemperatur erhitzt und im erhitzten Zustand unter Bildung der Wicklungsanordnung auf einen Träger aufgewickelt.

[0027] Die Herstellung des zylinderförmigen Formteils durch Elongieren des Halbzeugs und das Herstellen der Wicklungsanordnung erfolgen hierbei in separaten Arbeitsgängen. Dadurch können die Verfahrensparameter – insbesondere Ziehgeschwindigkeit und Aufwickelgeschwindigkeit – für jeden der Arbeitsgänge unabhängig voneinander optimiert werden. Der Außendurchmesser des Trägers bestimmt dabei den minimalen Innendurchmesser der Wicklungsanordnung.

[0028] Es hat sich bewährt, das Formteil zu einer mindestens eine Wicklungslage aufweisenden Spule oder zu einer Spirale aufzuwickeln.

[0029] Die Spule besteht aus einem in der Regel hohlen Spulenkern mit vorgegebenem, möglichst engem Durchmesser, der von einer Lage oder von mehreren Lagen des geordnet oder ungeordnet aufgewickelten Formteils begrenzt ist. Diese Anordnung gewährleistet reproduzierbare Eigenschaften des herzustellenden Laserbauteils.

[0030] Während sich die Wicklungsanordnung in Form der Spule entlang der Spulenachse erstreckt, verläuft die Spirale in einer Ebene um ihre Mittelachse. Die Wicklungsanordnung besteht in dem Fall aus mindestens einer Spirale. Im Fall einer mehrere Spiralen umfassenden Wicklungsanordnung sind diese vorteilhafterweise optisch miteinander verbunden, indem sie aus einem gemeinsamen Formteil gewickelt sind.

[0031] Vorzugsweise weist das zylinderförmige Formteil einen Außendurchmesser von 200 µm oder mehr auf.

[0032] Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht die Herstellung von Wicklungsanordnungen, die trotz zylinderförmigem Formteil mit großem Außendurchmesser einen engen Biegeradius aufweisen. Dies ermöglicht eine kompakte Bauform des laseraktiven Bauteils bei gleichzeitig großem Anregungs- und Emissionsquerschnitt und wirkt sich dadurch einerseits auf die in den Kernbereich des Formteils einzukoppelnde Pumplichtleistung und andererseits auf die zu emittierende Ausgangsleistung vorteilhaft aus.

[0033] In dem Zusammenhang hat es sich als besonders günstig erwiesen, wenn das zylinderförmige Formteil in der Wicklung einen Biegeradius von 10 cm oder weniger aufweist.

[0034] Hinsichtlich des Laserbauteils wird diese Aufgabe ausgehend von dem eingangs genannten Bauteil erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass die Wicklungsanordnung selbsttragend aus einem plastisch verformten Formteil ausgebildet ist.

[0035] Bei dem zylinderförmigen Formteil handelt es sich um einen Strang mit beliebigem radialem Querschnitt, insbesondere um eine optische Faser, einen Stab oder ein Rohr mit zentralen Kernbereich aus laseraktivem Quarzglas. Der Kernbereich kann von einem oder mehreren Mantelglasschichten aus dotiertem oder undotiertem Quarzglas umgeben sein.

[0036] Das herzustellende Laserbauteil wird von einer Wicklungsanordnung gebildet, in der das zylinderförmige Formteil plastisch verformt in einer geordneten oder in ungeordneten, möglichst kompakten Anhäufung vorliegt, die dem Zweck dient, über die Zylinder-Mantelfläche des zylinderförmigen Formteils eingestrahktes Pumplicht möglichst effektiv zu nutzen.

[0037] Folgende Aspekte sind beim erfindungsgemäßen Laserbauteil bei der Erfüllung dieses Zwecks besonders wichtig:

- Zum Einen liegt das Formteil in plastischer Verformung vor. Dieser Zustand ermöglicht es, zylinderförmige Formteile mit großem Durchmesser und nahezu beliebig engen Biegeradien einzusetzen, ohne dass es zur Ausbildung übermäßiger Spannungen oder gar zu Brüchen kommt.
- Zum Andern kann beim erfindungsgemäßen Laserbauteil auf eine ansonsten zum Schutz der optischen Faser notwendige Ummantelung des Formteils verzichtet werden. Denn infolge seines plastischen Verformungszustands weist das Formteil keine oder nur geringe mechanische Spannungen auf, so dass spannungsinduzierte Brüche und Alterungseffekte nicht auftreten. Die Erfindung eröffnet somit erstmals die Möglichkeit enge Biegeradien (auch bei großem Faserdurchmesser) ohne Schutzmantel zu realisieren.

- Weiterhin ist auch eine mechanische Fixierung der Wicklungsanordnung mittels einer Fixiermasse oder einer Halterung – wie aus dem Stand der Technik bekannt – nicht erforderlich. Derartige Fixierungsmittel behindern das seitliche Einkoppeln von Pumplicht in den Fasermantel; wobei eine Fixiermasse in dieser Hinsicht ähnlich nachteilig wie ein Kunststoff-Schutzmantel wirkt. Demgegenüber ist die Wicklungsanordnung auch ohne Stütz- und Fixierungsmaßnahmen formstabil und „selbsttragend“, worunter hier eine Wicklungsanordnung verstanden wird, die keines Stützkörpers oder Fixierungsmittels zur Stabilisierung ihrer Form bedarf. Die selbsttragende Ausbildung der Wicklungsanordnung vermeidet die mit Stützkörper oder Fixierungsmittel ansonsten einhergehenden Nachteile hinsichtlich der Abschattung von Pumplicht, und ermöglicht einen Einsatz auch bei hoher thermischer Belastung und insbesondere bei hohen Pumplichtleistungen.

[0038] Die Herstellung des erfindungsgemäßen Laserbauteils erfolgt bevorzugt anhand des oben beschriebenen erfindungsgemäßen Verfahrens durch plastische Verformung des zylinderförmigen Formteils.

[0039] Die als „selbsttragende Ausbildung“ bezeichnete Eigenschaft der Wicklungsanordnung schließt deren Halterung beim Einsatz in einem Laserbauteil nicht aus, wobei es zu einer elastischen Verformung der Wicklungsanordnung kommen kann. Beispielsweise wird die Wicklungsanordnung zwischen Halteteilen eingespannt und dabei geringfügig verformt, oder sie kann sich infolge ihres eigenen Gewichts elastisch verformen. Dabei handelt es sich aber in der Regel um elastische Verformungen der plastisch verformten, selbsttragenden Wicklungsanordnung insgesamt.

[0040] Das zylinderförmige Formteil weist einen Kernbereich auf, der aus Quarzglas besteht, das mit laseraktiven Ionen dotiert ist. Der SiO₂-Anteil des Kern-Quarzglases überwiegt jedoch bei weitem alle anderen Bestandteile und beträgt mindestens 85 Gew.-%. Der Kernbereich ist im radialen Querschnitt kreis- oder ringförmig ausgebildet und von mindestens einem Mantelglas umgeben.

[0041] Im Idealfall bestehen das Formteil und das daraus gebildete Laserbauteil vollständig aus Quarzglas.

[0042] Das Formteil ist weder in eine Fixiermasse eingebettet, wie im oben genannten Stand der Technik vorgeschlagen, noch weist es eine Ummantelung auf, was sich auf das Einkoppeln des Pumplichts über den Zylinder-Außenmantel vorteilhaft auswirkt und einen Einsatz bei hoher thermischer Belastung ermöglicht.

[0043] Vorzugsweise umfasst die selbsttragende Wicklungsanordnung eine selbsttragende Spule oder eine selbsttragende Spirale.

[0044] Das erfindungsgemäße Bauteil wird von einer Spule gebildet, die von dem zylinderförmigen Formteil in einer einzelnen Lage oder in möglichst kompakter Anhäufung aus mehreren Wicklungslagen vorliegt. Die Spule besteht aus einem in der Regel hohlen Spulenkern mit vorgegebenem, möglichst engem Durchmesser, der von mehreren Lagen des geordnet oder ungeordnet aufgewickelten Formteils begrenzt ist. Die Spule dient dem Zweck, über die Zylinder-Mantelfläche des zylinderförmigen Formteils eingestrahletes Pumplicht möglichst effektiv zu nutzen.

[0045] Im Gegensatz zu einer Wicklungsanordnung in Form einer Spule, die sich entlang der Spulenchse erstreckt, verläuft eine Wicklungsanordnung in Form einer Spirale in einer Ebene um die Spirale-Mittelachse. Die Wicklungsanordnung besteht in dem Fall aus mindestens einer Spirale. Im Fall einer mehrere Spiralen umfassenden Wicklungsanordnung sind diese vorteilhafterweise optisch miteinander verbunden, indem sie aus einem gemeinsamen Formteil gewickelt sind.

[0046] Vorzugsweise weist das zylinderförmige Formteil einen Außendurchmesser von 200 µm oder mehr, und in der Wicklungsanordnung einen Biegeradius von 10 cm oder weniger auf.

[0047] Eine derartige Wicklungsanordnung stellt einen großen Anregungs- und Emissionsquerschnitt zur Verfügung, ermöglicht das Einkoppeln einer hohen Pumplichtleistung in den Kernbereich des Formteils und gewährleistet eine hohe und reproduzierbare Ausgangsleistung des erfindungsgemäßen Laserbauteils.

Ausführungsbeispiel

[0048] Nachfolgend wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen und einer Zeichnung näher erläutert. In der Zeichnung zeigen im Einzelnen in schematischer Darstellung

[0049] [Fig. 1](#) eine Ausführungsform für die erfindungsgemäße Herstellung des Laserbauteils beim Ziehen eines Quarzglasstabs aus einer Vorform und durch Aufwickeln des erhitzten Quarzglasstabs zu einer starren, selbsttragenden Lichtleiter-Spule, und

[0050] [Fig. 2](#) eine vergrößerte Darstellung der Lichtleiter-Spule von [Fig. 1](#) in einer Ansicht auf die Spulen-Mantelfläche (im Schnitt).

[0051] [Fig. 1](#) zeigt eine Vorform **1**, bestehend aus einem Kernbereich mit einem Durchmesser von 15 mm aus laseraktivem Quarzglas, das mit 0,7 Mol-%

Yb_2O_3 und mit 5,0 Mol-% Al_2O_3 dotiert ist, und aus einer den Kernbereich umgebenden Mantelschicht aus undotiertem Quarzglas mit einer Schichtdicke von 1,5 mm. Die Vorform **1** wird mit ihrem unteren Ende beginnend kontinuierlich einem Ziehofen **2** zugeführt und darin zonenweise erweicht. Aus dem erweichten Bereich wird unter Bildung einer Ziehzwiebel **3** ein dünner Stab **4** mit einem Außendurchmesser von 400 µm mit einer Ziehgeschwindigkeit von 5 m/min mittels eines Schleppers **5** abgezogen. Der Durchmesser und die Ovalität des abgezogenen Stabes **4** werden kontinuierlich gemessen und auf voreingestellte Sollwerte eingeregelt.

[0052] Unterhalb des Schleppers **5** durchläuft der abgezogene Stab **4** einen Ringofen **7**, der auf eine Temperatur von 1600°C eingestellt ist, und in dem der Stab **4** zonenweise so aufgeheizt wird, dass er am Ende des Ringofens **7** eine über den Durchmesser gemittelte Viskosität $\log \eta$ von etwa 9,5 dPas aufweist.

[0053] In einer Verfahrensabwandlung wird zum Erhitzen und Erweichen des Stabs **4** anstelle des Ringofens **7** ein Brenner eingesetzt.

[0054] Der erweichte Stababschnitt **6** wird unmittelbar nach Verlassen des Ringofens **7** auf ein Al_2O_3 -Trägerrohr **8** aufgewickelt, das um seine Längsachse **10** rotiert und in Richtung der Längsachse **10** so verfahren wird, dass der Stab **4** unter Bildung einer zylinderförmigen Spule **9** mit aneinanderliegenden Spulenwindungen **11** (siehe [Fig. 2](#)) plastisch verformt wird. Bei diesem Formprozess weist der erhitzte Stababschnitt **6** eine Temperatur auf, die eine plastische Verformung im wesentlichen ohne die Ausbildung mechanischer Spannungen ermöglicht.

[0055] Nach dem Fertigstellen der Spule **9** wird der das Trägerrohr **8** entfernt. Die so hergestellte selbsttragende Spule **9** wird anhand [Fig. 2](#) näher beschrieben.

[0056] Die Abmessungen der Spule richten sich nach den konkreten Erfordernissen, wobei das erfindungsgemäße Verfahren insbesondere die Herstellung einer Lichtleiter-Spule mit besonders kleinem Innendurchmesser ermöglicht. Im Ausführungsbeispiel hat die Spule **9** einen Außendurchmesser des Al_2O_3 -Trägerrohr **8** entsprechenden Innendurchmesser von 5 cm, einen Außendurchmesser von 5,14 cm und eine Länge von 10 cm. Sie besteht aus zwei Lagen **14**, in denen die Wicklungsabschnitte des gezogenen und geformten Stabes **4** möglichst dicht und im Wesentlichen ohne Lücke aneinander und übereinander liegen. Die Spule **9** ist starr und selbsttragend.

[0057] Der Begriff „selbsttragende Spule“ wird in der Elektrotechnik für elektronische Spulen benutzt, die

keinen unabhängigen Spulenkörper erfordern, der sie stützt.

[0058] Die Lichtleiter-Spule **9** dient als optisches Bauteil für die Verstärkung von Laserlicht, das über beide Enden der aufgewickelten Stabes **6** in den Kernbereich eingekoppelt oder ausgekoppelt werden kann. Zusätzliches Pumplicht wird über den Zylindermantel **15** der Spule **9** in den dotierten Kernbereich eingekoppelt.

[0059] Das erfindungsgemäße Verfahren und die daraus resultierende spannungsfreie oder spannungsarme Ausbildung der Spule **9** ermöglicht es, auf einen Schutzmantel oder auf die bekannten Fixierungsmittel zu verzichten. Die mit diesen Schutz- und Fixierungsmaßnahmen einhergehenden Absorptions- und Reflexionsverluste sowie die Einschränkungen hinsichtlich der Einsatztemperatur und der maximalen Pumplichtleistung werden somit vermieden.

[0060] Zur Herstellung eines leicht zu handhabenden Laserbauteils wird die Spule **9** mittels Quarzglasplatten fixiert, die an den sich an den Spulen-Stirnseiten gegenüberliegen und die miteinander verbunden sind. Dabei wird die Spule **9** vorsichtig soweit zusammengedrückt, dass die einzelnen Windungen ohne Spalt aneinanderliegen.

[0061] In einer alternativen Ausführungsform des erfindungsgemäßen Laserbauteils ist die Wicklungsanordnung als Faserspirale ausgebildet, wie in der eingangs genannten EP 0 840 410 B1 beschrieben. Im Unterschied dazu ist die Spirale jedoch selbsttragend ausgebildet, indem die sie bildende Faser in die Spiralform plastisch verformt ist. Die so hergestellte Spirale wird, wie ebenfalls in der EP 0 840 410 B1 beschrieben, sandwichartig zwischen zwei Quarzglasplatten aufgenommen, deren Außendurchmesser dem Außendurchmesser der Spirale entspricht. Durch diese Fixierung der Spirale wird die Handhabbarkeit des so erhaltenen Laserbauteils verbessert, wobei die Spirale beim Einklemmen zwischen den Quarzglasplatten geringfügig elastisch verformt werden kann. Eine weitergehende Fixierung der Faser durch Aufschmelzen der Quarzglasplatten ist zwar auch möglich, aber nicht erforderlich.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines Bauteils aus Quarzglas für einen Laser, indem ein zylinderförmiges Formteil **(4)** mit einem Kern aus laseraktivem Quarzglas erzeugt wird, das eine Zylinder-Mantelfläche und ein stirnseitiges Auskoppelende für Laserstrahlung aufweist, und das zu einer Wicklungsanordnung **(9)** geformt und in dieser Form fixiert wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass das zylinderförmige Formteil **(4)** beim Formen der Wicklungsanordnung **(9)** eine Temperatur oberhalb einer Verformungstemperatur aufweist, bei der das Quarzglas plastisch verformbar ist.

peratur aufweist, bei der das Quarzglas plastisch verformbar ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das zylinderförmige Formteil **(4)** aus einem Halbzeug **(1)** gezogen und beim Ziehen in einem auf die Verformungstemperatur erhitzten Zustand unter Bildung der Wicklungsanordnung **(9)** auf einen Träger **(8)** aufgewickelt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass das aus dem Halbzeug **(1)** gezogene Formteil **(4)** abgekühlt und vor dem Aufwickeln auf den Träger **(8)** auf die Verformungstemperatur erhitzt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das zylinderförmige Formteil **(4)** aus einem Halbzeug **(1)** gezogen, anschließend auf die Verformungstemperatur erhitzt und im erhitzten Zustand unter Bildung der Wicklungsanordnung **(9)** auf einen Träger **(8)** aufgewickelt wird.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Formteil **(4)** zu einer mindestens eine Wicklungslage **(14)** aufweisenden Spule **(9)** oder zu einer Spirale aufgewickelt wird.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das zylinderförmige Formteil **(4)** einen Außendurchmesser von 200 µm oder mehr aufweist.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das zylinderförmige Formteil **(4)** in der Wicklungsanordnung **(9)** einen Biegeradius von 10 cm oder weniger aufweist.

8. Laserbauteil, umfassend ein in Form einer Wicklungsanordnung **(9)** fixiertes, zylinderförmiges Formteil **(4)** mit einem Kern aus laseraktivem Quarzglas, das eine Zylinder-Mantelfläche und ein stirnseitiges Auskoppelende für Laserstrahlung aufweist, dadurch gekennzeichnet, dass die Wicklungsanordnung **(9)** selbsttragend aus einem plastisch verformten Formteil **(4)** ausgebildet ist.

9. Laserbauteil nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass das Laserbauteil vollständig aus Quarzglas besteht.

10. Laserbauteil nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, dass die selbsttragende Wicklungsanordnung eine selbsttragende Spule **(9)** oder eine selbsttragende Spirale umfasst.

11. Laserbauteil nach einem der Ansprüche 8 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass das Formteil ei-

nen Außendurchmesser von 200 µm oder mehr aufweist.

12. Laserbauteil nach einem der Ansprüche 8 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass das zylinderförmige Formteil (4) in der Wicklungsanordnung (9) einen Biegeradius von 10 cm oder weniger aufweist.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

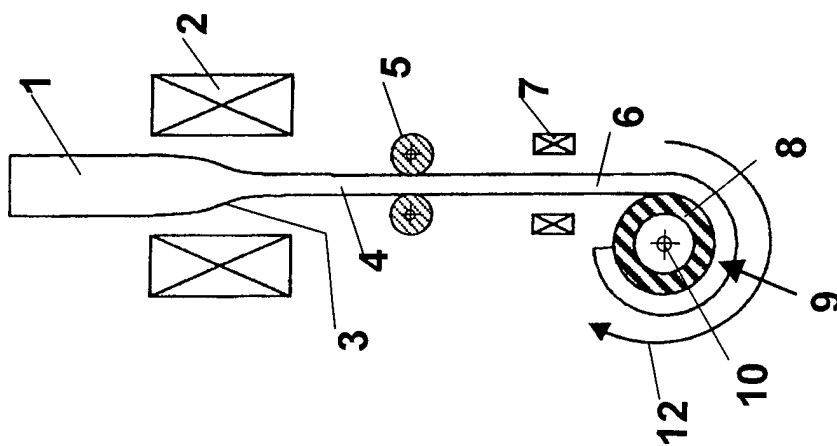


Fig. 1

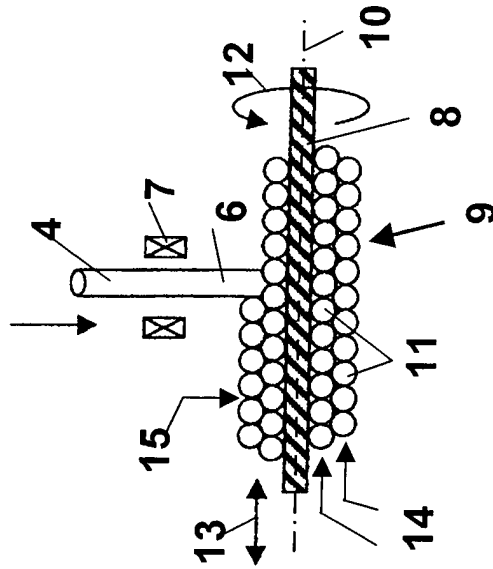


Fig. 2