



[12] 实用新型专利说明书

[21] ZL 专利号 200320112691.1

[45] 授权公告日 2004 年 10 月 20 日

[11] 授权公告号 CN 2650356Y

[22] 申请日 2003.11.6

[21] 申请号 200320112691.1

[73] 专利权人 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

地址 130031 吉林省长春市东南湖大路 16 号

[72] 设计人 赵 岭 郑 权

[74] 专利代理机构 长春科宇专利代理有限责任公司

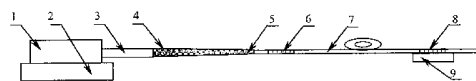
代理人 梁爱荣

权利要求书 2 页 说明书 9 页 附图 1 页

[54] 实用新型名称 波长可调谐光纤激光器

[57] 摘要

本实用新型提供一种波长可调谐光纤激光器包括：泵浦源 1、温控装置 2、尾纤 3、锥度光纤的第一端 4、锥度光纤的第二端 5、啁啾光纤光栅 6、双包层光纤 7、布拉格光纤光栅 8、调谐装置 9，本实用新型锥度光纤实现泵浦源与双包层光纤之间的低损耗连接，提高泵浦效率；锥度光纤第一端与尾纤和锥度光纤第二端与双包层光纤相匹配，减小熔接损耗，提高激光器工作可靠性；利用宽反射带、高反射率啁啾光纤光栅构成前腔镜和利用窄反射带、低反射率的布拉格光纤光栅构成后腔镜，增加激光器的结构紧凑性；对布拉格光纤光栅进行应力或温度调谐，在双包层光纤末端达到波长可调谐激光输出，有利于光纤激光器和后续光纤光学系统的匹配兼容。



I S S N 1 0 0 8 - 4 2 7 4

1、一种波长可调谐光纤激光器，包括：泵浦源(1)、温控装置(2)，泵浦源(1)的热沉与温控系统(2)的导热面连接，通过温控系统(2)调节泵浦源(1)，其特征在于还包括有：尾纤(3)、锥度光纤的第一端(4)、锥度光纤的第二端(5)、啁啾光纤光栅(6)、双包层光纤(7)、布拉格光纤光栅(8)、调谐装置(9)，泵浦源(1)发射的泵浦光中心波长与双包层光纤(7)的纤芯材料吸收波长相同；通过锥度光纤的第一端(4)和锥度光纤的第二端(5)分别与尾纤(3)和双包层光纤(7)固定连接，锥度光纤第一端(4)与尾纤(3)末端的直径、数值孔径相同，锥度光纤第二端(5)与双包层光纤(7)内包层的准直径、数值孔径相同；在靠近锥度光纤第二端(5)的双包层光纤(7)的纤芯上刻写高反射率的啁啾光纤光栅(6)构成谐振腔的前腔镜，在适当长度的双包层光纤(7)的纤芯上刻写窄反射带、低反射率的布拉格光纤光栅(8)构成谐振腔的后腔镜；布拉格光纤光栅(8)与调谐装置(9)固定连接，通过调谐装置(9)对布拉格光纤光栅(8)进行应力或温度调谐，在双包层光纤(7)另一端输出波长可调谐激光。

2、根据权利要求书1所述波长可调谐光纤激光器，其特征在于所说的泵浦源(1)为高功率半导体激光器光纤耦合模块，通过温控系统(2)保证泵浦光波长与双包层光纤(7)纤芯材料吸收波长相同。

3、根据权利要求书1所述波长可调谐光纤激光器，其特征在于所说的锥度光纤第一端(4)与尾纤(3)末端的直径、数值孔径相同。

4、根据权利要求书 1 所述波长可调谐光纤激光器，其特征在于所说的锥度光纤第二段(5)与双包层光纤(7)内包层的准直径、数值孔径相同。

5、根据权利要求 1 所述波长可调谐光纤激光器，其特征在于：所说的调谐装置(9)是对布拉格光纤光栅(8)进行波长调谐的应力调谐装置或温度调谐装置。

波长可调谐光纤激光器

技术领域：

本实用新型涉及光纤激光器领域，特别是涉及波长可调谐的光纤激光器。

背景技术：

双包层光纤激光器利用包层泵浦技术克服了低空间相干性强泵浦光（半导体激光器，简称 LD）与单个空间模的激光波导之间不容易耦合的困难，将大功率的泵浦光耦合进双包层光纤的内包层，泵浦光在内包层传输并不断激发纤芯中的掺杂离子，从而达到高功率激光输出。高功率光纤激光是近几年激光领域人们关注的热点之一，它以其优良的光束质量、光传递特性，稳定可靠性，有限的占有空间等优势，在高精度激光加工、激光雷达系统、空间技术、激光医疗等领域具有广阔的应用前景。针对不同的应用领域，需要光纤激光器输出不同的波长，所以设计制作波长可调谐双包层光纤激光器有重要的实际应用价值。

在先技术中双包层光纤激光器的可调谐波长输出是通过闪耀光栅实现的[Z.J.chen,A.B.Grudin, J.Porta, and J.D.Minelly, Enhanced Q switching in double-clad fiber lasers, Optics Letters, 1998, 23(6): 454-456]。如图 1 所示，它包括半导体激光器列阵 1-1，光学耦合透镜组 1-2，双包层光纤 1-3，闪耀光栅 1-4 四部分组成。半导体激光器列

阵通过特殊设计的光学耦合透镜组，将泵浦光聚焦小于双包层光纤内包层的光斑，在泵浦光入射一端的透镜端面贴双色镜或镀双色膜构成谐振腔的前腔镜，后腔镜由 $1.06\mu\text{m}$ 作用的闪耀光栅构成，闪耀光栅把一级光束反射回谐振腔，通过改变闪耀光栅的角度使不同波长的光被反射，从而达到 1080-1119 nm 的可调谐波长输出。但是，采用双色镜和透镜组等体光学器件构成谐振腔，未能实现全光纤化，这不仅极大限制了光纤激光器的结构紧凑性和工作可靠性，也增加了抽运光的耦合难度，同时不利于光纤激光器和后续光纤光学系统的匹配兼容。

发明内容：

为了解决背景技术未实现全光纤化，使光纤激光器的结构不紧凑和工作可靠性差，抽运光耦合困难，不利于光纤激光器和后续光纤光学系统的匹配兼容等问题，本实用新型的目的是采用锥度光纤、利用宽反射带、高反射率的啁啾光纤光栅以及利用窄反射带、低反射率的布拉格光纤光栅，实现一种波长可调谐的双包层全光纤结构的激光器。

本实用新型的波长可调谐激光器的结构，如图 2 所示。包括：泵浦源、温控装置、尾纤，锥度光纤的第一端、锥度光纤的第二端、啁啾光纤光栅、双包层光纤、布拉格光纤光栅、调谐装置，泵浦源的热沉与温控系统的导热面连接，通过温控系统调节泵浦源，使泵浦源发射的泵浦光中心波长与双包层光纤的纤芯材料吸收波长相同；锥度光纤的第一端和锥度光纤的第二端分别与尾纤和双包层光纤固定连

接，锥度光纤第一端与尾纤末端的直径、数值孔径相同，锥度光纤第二端与双包层光纤内包层的准直径、数值孔径相同；在靠近锥度光纤第二端的双包层光纤的纤芯上刻写高反射率的啁啾光纤光栅构成谐振腔的前腔镜，在适当长度的双包层光纤的纤芯上刻写窄反射带、低反射率的布拉格光纤光栅构成谐振腔的后腔镜；布拉格光纤光栅与调谐装置固定连接，通过调谐装置对布拉格光纤光栅进行应力或温度调谐，在双包层光纤另一端输出波长可调谐激光。

所说的泵浦源为高功率半导体激光器光纤耦合模块，通过温控系统保证泵浦光波长与双包层光纤纤芯材料吸收波长相同。

所说的锥度光纤第一端与尾纤末端的直径、数值孔径相同。

所说的锥度光纤第二端与双包层光纤内包层的尺寸、数值孔径相同。

所说的调谐装置是对布拉格光纤光栅进行波长调谐的应力调谐装置或温度调谐装置。

本实用新型工作时：当泵浦源加电时，通过温控系统调节泵浦源发射的泵浦光波长与双包层光纤纤芯材料吸收波长相同，通过锥度光纤将泵浦光耦合进双包层光纤的内包层，泵浦光在内包层多次全反射从而多次通过纤芯，使双包层光纤纤芯材料产生增益，激光谐振腔由刻写在双包层光纤纤芯上的宽反射带、高反射率的啁啾光纤光栅和窄反射带、低反射率的布拉格光纤光栅构成，通过谐振腔选频实现受激发射，调谐装置对布拉格光纤光栅进行应力或温度调谐，在双包层光纤另一端输出波长可调谐激光。

本实用新型的优点：本实用新型采用锥度光纤实现泵浦源与双包层光纤之间的低损耗连接，减小了抽运光的耦合难度，泵浦光波长与双包层光纤吸收波长相同，增加了泵浦效率；锥度光纤的第一端与尾纤的芯径、数值孔径相同，锥度光纤的第二端与双包层光纤内包层的准直径、数值孔径相同，从而减少了熔接损耗，提高了光纤激光器的工作可靠性；本实用新型利用宽反射带、高反射率的啁啾光纤光栅构成前腔镜和利用窄反射带、低反射率的布拉格光纤光栅构成后腔镜的全光纤谐振腔设计方法，增加了光纤激光器的结构紧凑性；布拉格光纤光栅对应力、温度的灵敏性使波长调谐简便易行，本实用新型通过对布拉格光纤光栅进行应力或温度调谐，直接在双包层光纤末端达到波长可调谐激光输出，有利于光纤激光器和后续光纤光学系统的匹配兼容。本实用新型的双包层光纤激光器输出为有良好的光束质量的 TEM_{00} 模激光束，实现了 1047nm-1094nm 的连续可调谐激光输出。本实用新型在高精度激光加工、激光雷达系统、空间技术、激光医疗等领域具有广阔的应用前景。

附图说明：

图 1 是在先技术的结构示意图

图 2 是本实用新型结构示意图

图 3 是本实用新型线形谐振腔模型示意图

具体实施方式：

本实用新型如图 1 所示的结构由泵浦源 1、温控装置 2、尾纤 3，锥度光纤的第一端 4、锥度光纤的第二端 5、啁啾光纤光栅 6、双包

层光纤 7、布拉格光纤光栅 8、调谐装置 9 组成，上述部件可置于机壳里。

当本实用新型选择的输出激光连续可调谐范围为 1047nm-1094nm 时，一个实施例如下：

泵浦源 1 是采用高功率半导体激光器光纤耦合模块，所选高功率半导体激光器光纤耦合模块在室温 20℃时，其发射的泵浦光中心波长为 910nm-920nm 或 972nm-977nm。

温控系统 2 可采用半导体制冷器或水冷系统，通过温控系统 2 保证泵浦源 1 发射中心波长可选择为 915nm 或 975nm 或 976nm，恰与双包层光纤 7 纤芯材料吸收波长相同，泵浦源泵浦功率可选择为 30W。

尾纤 3 和锥度光纤采用石英玻璃或晶体，工作波长与双包层光纤的工作波长相同。

尾纤 3 的直径 R_3 和数值孔径 NA_3 根据泵浦源泵浦功率可选择，在本实施例中，尾纤 3 的直径 R_3 可选择为 200 μm ，数值孔径 NA_3 可选择为 0.2025，工作波长可选择为 180nm-3000nm。

锥度光纤工作波长可选择为 180nm-3000nm，锥度光纤第一端 4 的直径 R_4 和数值孔径 NA_4 、锥度光纤第二端 5 的直径 R_5 和数值孔径 NA_5 根据尾纤 3 的直径 R_3 和数值孔径 NA_3 、双包层光纤 7 的内包层准直径 R_7 和内包层数值孔径 NA_7 决定，具体关系如下：

$$R_3 = R_4 \quad NA_3 = NA_4$$

$$R_4 \cdot NA_4 = R_5 \cdot NA_5$$

$$R_5 = R_7 \quad NA_5 = NA_7$$

在本实施例中，锥度光纤第一端 4 可选择纤芯直径为 $200\mu\text{m}$ 的光纤，数值孔径可选择为 0.2025。

锥度光纤第二端 5 可选择纤芯直径为 $90\mu\text{m}$ 的光纤，数值孔径可选择为 0.45，外包层直径可选择为 $125\mu\text{m}$ 。

双包层光纤 7 的内包层横截面形状可选择为梅花瓣状、准直径可选择为 $90\mu\text{m}$ 、内包层数值孔径可选择为 0.45，外包层直径可选择为 $125\mu\text{m}$ 。

锥度光纤的第一端 4 与尾纤 3 利用光纤熔接机熔接。锥度光纤的第二端 5 与双包层光纤 7 也利用光纤熔接机熔接。

在双包层光纤 7 上靠近锥度光纤的第二端 5 与双包层光纤 7 熔接点处采用相位掩模板法或全息法或逐点扫描法刻写高反射率的啁啾光纤光栅 6，构成谐振腔前腔镜的啁啾光纤光栅 6 长度根据啁啾量来设计，在本实施例中啁啾光纤光栅 6 长度可选择为 1cm ，反射的中心波长可选择为 1070nm ，反射带宽可选择为 47nm ，反射率可选择为 99.9%。

双包层光纤 7 的纤芯材料为掺杂稀土元素的石英玻璃或晶体，工作波长可选择为 $180\text{nm}-3000\text{nm}$ 。在本实施例中，纤芯材料为掺 Yb^{3+} 的石英玻璃或晶体，该材料的吸收峰可选择在 915nm 或 975nm ，双包层光纤 7 的长度可选择为 21m 、纤芯直径可选择为 $9\mu\text{m}$ ，纤芯数值孔径可选择为 0.175；双包层光纤 7 的内包层横截面形状可选择为梅花瓣状、准直径可选择为 $90\mu\text{m}$ 、内包层数值孔径可选择为 0.45，外包层直径可选择为 $125\mu\text{m}$ 。所说的双包层光纤 7 的内包层横截面外形还

可采用矩形、方形、D形或其它多边形。

在双包层光纤7的纤芯适当长度处采用相位掩模板法或全息法刻写窄反射带宽、低反射率的布拉格光纤光栅8的长度可选择为1cm，布拉格光纤光栅8的反射的中心波长可选择为1070nm，反射带宽可选择为0.2nm，反射率可选择为4%。

啁啾光纤光栅6与布拉格光纤光栅8之间的长度为激光器的谐振腔腔长。谐振腔腔长由泵浦光功率，受激发射截面、信号光在纤芯中的损耗因子、泵浦光的损耗因子、泵浦光在纤芯中的吸收因子、荧光寿命、泵浦光子能量、纤芯横截面面积以及激光和泵浦光的模式重迭因子决定，其关系如下所述：

采用如图3所示简化的双包层光纤激光器线形谐振腔模型。取泵浦光传播方向为z方向，掺镱双包层光纤的长度为1，构成谐振腔前腔镜的啁啾光纤光栅6的反射率为 R_1 ，构成谐振腔后腔镜的布拉格光纤光栅8的反射率为 R_2 ，对于均匀加宽谐振腔系统，两个相向传输的激光分量 $P_+(z)$ 和 $P_-(z)$ 在z方向的分布服从速率方程，形式为：

$$\frac{dp^{\pm}(z)}{dz} = \pm \left[\frac{\sigma_s \tau_f}{h \nu_p} \alpha_a p_p(0) e^{-(\alpha_a + \alpha_s)z} \frac{F_p}{A_f} \frac{p_0 + p^{\pm}(z)}{1 + \frac{p^+(z) + p^-(z)}{p_s}} - \alpha_o p^{\pm}(z) \right] \quad (1)$$

$$g(z) = \frac{\sigma_s \tau_f}{h \nu_p} \alpha_a p_p(0) e^{-(\alpha_a + \alpha_s)z} \frac{F_p}{A_f} \frac{1}{1 + \frac{p^+(z) + p^-(z)}{p_s}} \quad (2)$$

各参数的定义如表1所示。

$g(z)$ 为增益函数， P_s 和 P_0 分别为激光饱和输出功率和为增益带宽

$\Delta \nu_s$ 内在自发发射带宽内的N个光子对自发发射功率有用的部分：

$$P_s = (h \nu_s / \sigma_s \tau_f) \cdot A_f \quad (3)$$

$$P_0 = Nh\nu_s \cdot (\pi\Delta\nu_s / 2) \quad (4)$$

假设泵浦光到达右 FBG 时功率为零，这样泵浦光仅通过谐振腔一次，受激信号光有如下边界条件：

$$P^+(0)=R_1P^-(0), \quad P^-(l)=R_2P^+(l). \quad (5)$$

表1：模拟参数定义

参 数	定 义
$P_p(0)$	泵浦光功率
$P^+(z), P^-(z)$	正、反向激光功率
σ_s	受激发射截面
α_s	激光在纤芯中的损耗因子
α_a	泵浦光在纤芯中的吸收因子
α_p	泵浦光的损耗因子
τ_f	荧光寿命
$h\nu_p$	泵浦光子能量
A_f	纤芯横截面面积
F_p	激光和泵浦光的模式重迭因子
ν_p	泵浦光频率
ν_s	激光频率

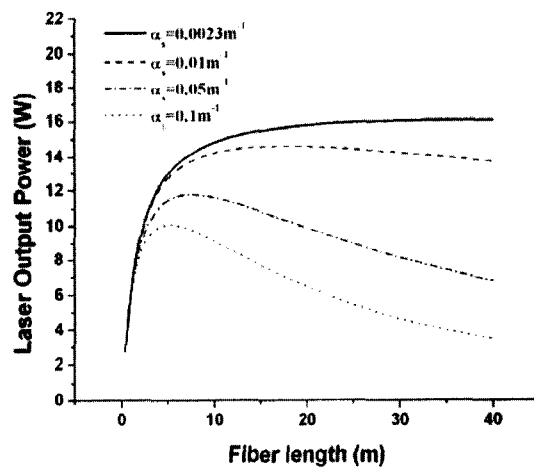
通过对微分方程组(1)数值求解，可得出激光输出功率和阈值泵浦功率对双包层光纤长度的影响如曲线 1 所示(双包层光纤激光器的光纤长度对输出特性的影响曲线 1)，模拟计算中有关参数取值为：

$$P_p(0)=30\text{W}, \sigma_s=2.6 \times 10^{-24}\text{m}^2, \alpha_a=0.157\text{m}^{-1}, \alpha_p=0.01\text{m}^{-1}, \tau_f=0.76 \times 10^{-3}\text{s}, \\ h=6.626 \times 10^{-34}, D_{\text{core}}=10\mu\text{m}, R_1=1, R_2=0.04, \nu_p=307\text{THz}, \nu_s=280.37\text{THz}。$$

在实施例中，信号光在纤芯中的损耗因子 α_s 为 0.0023m^{-1} ，由图 2 分析可知，谐振腔腔长取 20m 时，使激光输出功率最大。

调谐装置 9 可选择应力调谐装置可采用：微电机驱动机械装置、电磁线圈驱动机械装置、悬臂梁驱动机械装置、简支梁驱动机械装置或弯曲梁驱动机械装置。当上述应力调谐装置作用时，布拉格光纤光栅 8 上的应力场发生变化则实现应力调谐。应力调谐装置带有光纤导轨机构防止压缩调谐过程中布拉格光纤光栅 8 由于弯曲而断裂。

调谐装置 9 可选择温度调谐装置可采用：在布拉格光纤光栅 8 的外表面镀制金属膜或加金属套管，当金属膜或金属套管通电后成为热电阻，热电阻的温度变化使布拉格光纤光栅 8 的温度变化，从而使调谐装置 9 实现温度调谐。



曲线 1

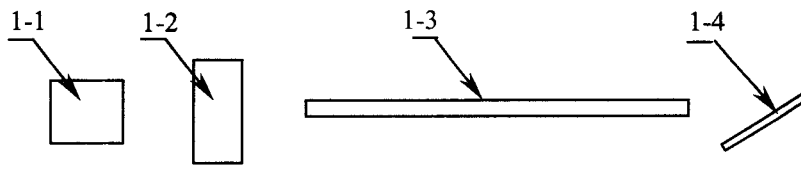


图 1

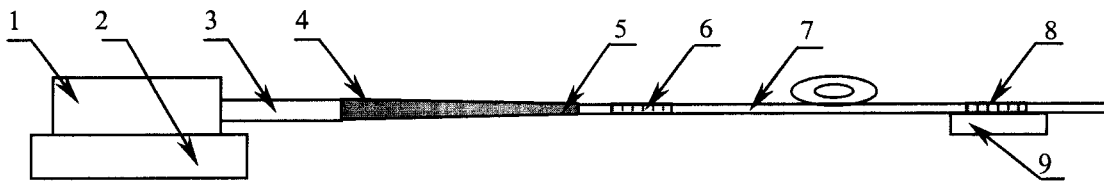


图 2

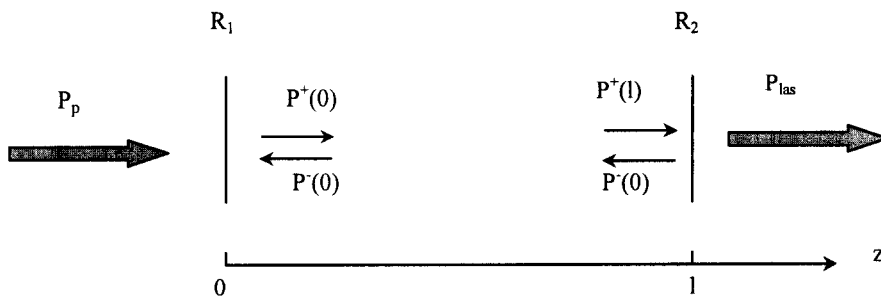


图 3