[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl[7]
H01S 3/00

[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 03127690.3

[43] 公开日 2004 年 11 月 3 日

[11] 公开号 CN 1543023A

[22] 申请日 2003.8.14 [21] 申请号 03127690.3

[71] 申请人 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

地址 130022 吉林省长春市人民大街 140 号

[72] 发明人 潘玉寨 张 军 张 亮 刘 云 王立军

[74] 专利代理机构 长春科宇专利代理有限责任公司

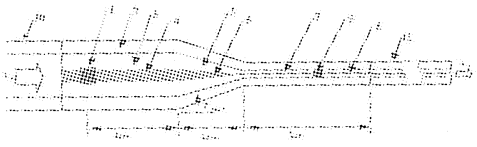
代理人 梁爱荣

权利要求书 2 页 说明书 8 页 附图 1 页

[54] 发明名称 大模式面积双包层光纤单模激光器及制备方法

[57] 摘要

本发明涉及大模式面积双包层光纤单模激光器及制备方法。 首先选取一段大模式面积双包层光纤去除外包层形成裸光纤拉制锥形光纤和单模光纤制成一体的光纤；在光纤的两端分别上去除外包层制作出光纤光栅并封装，完成激光器的制作。 激光器包括：双包层光纤光栅 1、外包层 2、大直径内包层 3、大模式面积纤芯 4、锥形内包层 5、锥形纤芯 6、单模包层 7、单模纤芯 8，单模光纤光栅 9。 制成一体的光纤激光器，避免连接损耗；使用锥形光纤消除泵浦光干扰，提高输出稳定性，实现单模激光，提高耦合效率，降低技术难度及成本，避免使用透镜的附加损耗；用光纤光栅作激光器腔镜，结构紧凑，利用大模式面积纤芯提高吸收效率；可以与其它单模光纤连接，使用方便。



ISSN1008-4274

1、大模式面积双包层光纤单模激光器的制备方法，其特征在于：制备步骤如下：首先选取一段由大模式面积纤芯、大直径内包层和外包层组成的大模式面积双包层光纤；在大模式面积双包层光纤的一端去除一定长度的外包层形成含有纤芯和内包层的裸光纤；将裸光纤放在光纤拉制炉中，在熔融状态下，将裸光纤拉制出锥形光纤，并在锥形光纤的前端制成一段单模光纤，锥形光纤的长度保证滤掉由双包层光纤的大模式面积纤芯产生的所有高阶模式（LP_{mn}，m>0 或 n>1），即只允许最低阶（LP_{01}）模式信号光通过锥形光纤再进入单模光纤，同时又保证信号光在锥形光纤不发生泄漏损耗；拉制完锥形光纤和单模光纤，即制成了由大模式面积双包层光纤、锥形光纤和单模光纤组合成为一体的光纤；在大模式面积双包层光纤靠近另一端的适当位置去除外包层形成含有纤芯和内包层的裸光纤；在大模式面积纤芯上制作出光纤光栅并封装；在单模光纤靠近输出端的适当位置制作出另一光纤光栅；大模式面积双包层光纤的另一端与泵浦源的输出光纤连接，则完成了全光纤化结构的大模式面积双包层光纤单模激光器的制作。

2、根据权利要求 1 大模式面积双包层光纤单模激光器，其特征在于：在单模光纤输出端与另一单模光纤的一端连接，也可以在另一单模光纤的适当位置制作出光纤光栅。

3、大模式面积双包层光纤单模激光器，它包括：外包层(2)、大

直径内包层(3)、大模式面积纤芯(4)，单模包层(7)、单模纤芯(8)，单模光纤光栅(9)，其特征在于：还包括双包层光纤光栅(1)、锥形内包层(5)、锥形纤芯(6)，外包层(2)、大直径内包层(3)、大模式面积纤芯(4)、锥形内包层(5)、锥形纤芯(6)、单模包层(7)、单模纤芯(8)的中心轴位于同一直线上；大模式面积纤芯(4)右侧与锥形纤芯(6)左侧连接，锥形纤芯(6)的右侧与单模纤芯(8)的左侧连接，大直径内包层(3)的右侧与锥形内包层(5)的左侧连接，锥形内包层(5)的右侧与单模包层(7)的左侧连接；从大模式面积纤芯(4)的中心处横向截面方向由里往外依次安置有：大模式面积纤芯(4)、大直径内包层(3)、外包层(2)；从锥形纤芯(6)的中心处横向截面方向由里往外依次安置有：锥形纤芯(6)、锥形内包层(5)、外包层(2)；从单模纤芯(8)的中心处横向截面方向由里往外依次安置有：单模纤芯(8)、单模包层(7)、外包层(2)；双包层光纤光栅(1)位于靠近大模式面积纤芯(4)左侧输入端的位置上；单模光纤光栅(9)位于靠近单模纤芯(8)右侧输出端的位置上。

大模式面积双包层光纤单模激光器及制备方法

技术领域：本发明属于光纤激光器领域，涉及对高功率双包层光纤激光器结构的改进。

背景技术：高功率双包层光纤激光器使用双包层光纤作为有源介质，双包层光纤由掺杂稀土离子的单模纤芯，纤芯外部较大尺寸的内包层和低折射率的外包层组成，泵浦源通常采用半导体激光器，其泵浦原理是将高功率的宽条多模半导体激光器或者光纤输出模块通常一些光学元件将高功率的激光光束耦合进入双包层光纤中的内包层中，而激光是在双包层光纤在纤芯中被放大传输获得近衍射受限单模激光输出，在双包层光纤和泵浦源之间加入双色片作为激光器的前腔镜，后腔镜采用双包层光纤后端的自然解理面来实现光反馈。在双包层光纤中由于泵浦光束与激光光束有着不同的传播路径，内包层直径越接近单模纤芯的直径，泵浦光束与激光光束的重叠面积越大，双包层光纤的有效吸收系数越大，而对于双包层光纤中具有同样的掺杂离子及浓度的单模纤芯来说，内包层直径的减小，不论是采用透镜耦合，还是采用熔接技术，都加大泵浦光耦合进入双包层光纤内包层中的难度，为了实现泵浦光束与激光光束较高的重叠面积，需要将泵浦光束进行压缩，使泵浦光进入双包层光纤的内包层中，以致在传播过程中被单模纤芯吸收，耦合效率低，或者采用更高功率密度的光纤输出泵

浦源，但高功率密度的泵浦源的制作技术难度大，成本高，同时采用单模纤芯吸收泵浦光来说，单模纤芯的吸收效率比较小，为获得足够的增益，就需要增加双包层光纤的使用长度，采用高功率密度的泵浦源和增加双包层光纤的使用长度会成倍地增加成本；在泵浦源与双包层光纤之间需要加入其它光学元件，如准直聚焦耦合透镜组和前腔镜等，会增加激光器的腔损耗，结构复杂且不稳定，也无法实现全光纤化结构的高功率光纤激光器。

本发明的详细内容：为解决背景技术中双包层光纤激光器中光纤与泵浦源的耦合效率低，制作高功率密度泵浦光难度大，成本高，加入光学元件又会增加激光器的腔损耗，结构复杂且不稳定，无法实现全光纤化结构等问题，本发明的目的在于设计并制备了一种新型高功率大模式面积双包层光纤单模输出激光器，提高了双包层光纤与泵浦光的耦合效率，无需加入光学元件，结构紧凑简单，实现了全光纤化结构，成本降低。

为实现上述目的，本发明大模式面积双包层光纤单模激光器的制备方法步骤是：首先选取一段由大模式面积纤芯、大直径内包层和外包层组成的大模式面积双包层光纤；在大模式面积双包层光纤的一端去除一定长度的外包层形成含有纤芯和内包层的裸光纤；将裸光纤放在光纤拉制炉中，在熔融状态下，将裸光纤拉制出锥形光纤，并在锥形光纤的前端制成一段单模光纤，锥形光纤的长度保证滤掉由双包层光纤的大模式面积纤芯产生的所有高阶模式（LP_{mn}，m>0 或 n>1），即只允许最低阶（LP_{01}）模式信号光通过锥形光纤再进入单模光纤，

同时又保证信号光在锥形光纤不发生泄漏损耗；拉制完锥形光纤和单模光纤，即制成了由大模式面积双包层光纤、锥形光纤和单模光纤组合成为一体的光纤；在大模式面积双包层光纤靠近另一端的适当位置去除外包层形成含有纤芯和内包层的裸光纤；在大模式面积纤芯上制作出光纤光栅并封装；在单模光纤靠近输出端的适当位置制作出另一光纤光栅；大模式面积双包层光纤的另一端与泵浦源的输出光纤连接，则完成了全光纤化结构的大模式面积双包层光纤单模激光器的制作。

在单模光纤输出端与另一单模光纤的一端连接，也可以在另一单模光纤的适当位置制作出光纤光栅；

本发明的结构包括：大模式面积双包层光纤：由外包层、大直径内包层、大模式面积纤芯组成；锥形双包层光纤由外包层、锥形内包层、锥形纤芯组成；单模光纤由单模包层、单模纤芯组成，双包层光纤光栅、单模光纤光栅，外包层、大直径内包层、大模式面积纤芯、锥形内包层、锥形纤芯、单模包层、单模纤芯的中心轴位于同一直线上；大模式面积纤芯右侧与锥形纤芯左侧连接，锥形纤芯的右侧与单模纤芯的左侧连接，大直径内包层的右侧与锥形内包层的左侧连接，锥形内包层的右侧与单模包层的左侧连接；从大模式面积纤芯的中心处横向截面方向由里往外依次安置有：大模式面积纤芯、大直径内包层、外包层；从锥形纤芯的中心处横向截面方向由里往外依次安置有：锥形纤芯、锥形内包层、外包层；从单模纤芯的中心处横向截面方向由里往外依次安置有：单模纤芯、单模包层、外包层；双包层光纤光

栅位于靠近大模式面积纤芯左侧输入端的位置上；单模光纤光栅位于靠近单模纤芯右侧输出端的位置上。

本发明的工作原理是：泵浦光λ_p进入大模式面积双包层光纤的大直径内包层，通过大模式面积纤芯上的双包层光纤光栅，反复经过大模式面积纤芯被其中的稀土离子吸收产生信号光，信号光有大量的模式，信号光向前传输到锥形双包层光纤的锥形纤芯中；锥形纤芯只允许存在于最低阶模式的单模信号光通过，到达单模光纤的单模纤芯并继续传输，被单模纤芯上的单模光纤光栅反射回来部分单模信号光，部分单模信号光又反向在锥形纤芯和大模式面积纤芯传输，到达大模式面积纤芯上的双包层光纤光栅被完全反射回来，反复重复此过程既形成单模信号光光反馈，也只有单模信号光得到了增益放大，从而在单模纤芯的输出端得到单模激光λ_s。

本发明的优点：由于本发明制成了由大模式面积双包层光纤、锥形光纤和单模光纤组合为一体的光纤激光器，工艺简单、避免了因非一体化光纤间连接引起的损耗；由于在大模式面积双包层光纤的尾部使用了锥形光纤，限制了泵浦光通过，消除了泵浦光对输出激光的干扰，提高激光器输出稳定性。由于使用了大直径内包层，提高了双包层光纤与泵浦光的耦合效率，可以使用低功率密度的泵浦源，降低技术难度和成本，避免了使用准直聚焦透镜进行泵浦光耦合，避免了附加损耗，同时使用光纤光栅代替了双色镜作为激光器的谐振腔镜，因此无需加入其它的分离光学元件，结构紧凑简单，利用大模式面积双包层光纤中的大模式面积纤芯，增大了原来纤芯的横截面积，使得大

模式面积纤芯有更大的吸收效率，减少了双包层光纤的使用长度，进一步降低成本，同时利用锥形双包层光纤实现了模式过滤，只有最低阶的单模式激光得到增益放大实现激射，保证光纤激光器的单模输出。大直径内包层的双包层光纤可以和泵浦源的输出光纤直接连接，实现了全光纤化结构，单模光纤输出端可以连接另外的单模光纤传输激光，光纤可以任意延长，给使用带来方便。

附图说明：

图 1 是本发明实施例 1 的激光器剖视图

图 2a 和图 2b 是本发明光纤光栅封装剖视图

图 3 是本发明实施例 2 的结构剖视图

具体实施方式：

下面结合附图和具体实施例详细描述本发明，图 1，2，3 为高功率大模式面积双包层光纤单模激光器剖视图。本发明的装置包括：大模式面积双包层光纤：由外包层 2、大直径内包层 3、大模式面积纤芯 4 组成；锥形双包层光纤由外包层 2、锥形内包层 5、锥形纤芯 6 组成；单模光纤由单模包层 7、单模纤芯 8 组成，双包层光纤光栅 1、单模光纤光栅 9，泵浦源输出光纤 10，单模光纤 11，封装套管 12，折射率匹配涂层 13，光纤光栅 14。

本装置的制备方法如下：

1）选取一段大模式面积双包层光纤，其中大模式面积纤芯 4 的直径为 45μm，大模式面积纤芯 4 选取石英玻璃作为基质，同时掺杂有稀土离子，如：钕离子或镱离子，掺杂浓度为 0.5wt%，或共掺杂

多种其它稀土离子，大直径内包层 3 的直径为 800μm，大直径内包层 3 的材料为石英玻璃，大模式面积纤芯 4 中掺入锗离子，实现大模式面积纤芯 4 和大直径内包层 3 之间的折射率差为 0.005，即数值孔径为 0.1，外包层 2 的厚度为 100μm，大直径内包层 3 与外包层 2 形成数值孔径为 0.45，外包层 2 的材料选择低折射率（如 $n=1.377$ ）的聚合物材料，大模式面积双包层光纤的长度 L_{LMAF} 由下式决定：$L_{LMAF}=1/\alpha_{eff}$，$\alpha_{eff}(cm^{-1})$ 为大模式面积双包层光纤的有效吸收系数，由式 $\alpha_{eff}=\alpha_c\cdot\Gamma$ 决定，其中 $\alpha_c(cm^{-1})$ 为大模式面积纤芯 4 的吸收系数，由纤芯的掺杂离子浓度决定，本实施例中的 $\alpha_c=1.1cm^{-1}$ 其中 $\Gamma=S_c/S_i$，S_c,S_i 分别为大模式面积纤芯 4 和大直径内包层 3 的横截面积，则 $L_{LMAF}=17.5m$，这里我们选取大模式面积双包层光纤的长度为 20m。

2）将大模式面积双包层光纤一端两米长光纤的外包层 2 在稀释的酸性溶液中浸泡直至全部被去除掉，然后放到光纤拉制塔中，在高温（2200°C）下，大直径内包层 3 和大模式面积纤芯 4 处于熔融状态，拉伸大直径内包层 3 的直径从 800 m 到 125 m，拉制出长度为 L_{Taper} 的锥形双包层光纤，保持大直径内包层 3 的直径 125 m 不变再拉制出长度为 L_{SMF} 的单模光纤，在拉制完成的锥形双包层光纤和单模光纤上再涂覆与外包层 2 相同的低折射率聚合物材料，厚度为 100m。

如图 1 所示，对于锥形双包层光纤的长度 L_{Taper} 由锥形纤芯 6 的斜边与锥形纤芯 6 中心轴所成的夹角 θ_{Taper} 决定，夹角 θ_{Taper} 受到保证锥形双包层光纤只允许单模传输条件和无耦合损耗条件的限制，要求夹角 θ_{Taper} 近可能小，才能避免最低阶模式 LP_{01} 和次低阶模式 LP_{02} 的耦合损耗，可由公式：$\theta_{Taper}<\theta_{Taper,max}=\frac{2\cdot\pi\cdot a}{\beta_{01}-\beta_{02}}$ 推导出，式中 β_{01} 和 β_{02} 为

最低价模式 LP_{01} 和次低阶模式 LP_{02} 的传播常数，a 为锥形纤芯 6 的半径，则锥形双包层光纤长度 $L_{Taper} > L_{Taper,\min} = {a_1 - a_2}/{\tan(\theta_{Taper,\max})}$，式中 a_1 和 a_2 分别为大模式面积纤芯 4 和单模纤芯 8 的半径，因此当锥形双包层光纤的长度大于 5cm 时，模式耦合损耗减少到可以忽略的程度，我们制作的锥形双包层光纤的长度 L_{Taper} 为 3m，完全满足条件，单模包层 7 的直径为 125μm，单模纤芯 8 的直径为 7μm，形成的单模光纤的长度为 2 米，此时整个光纤激光器的长度由 18m 长的大模式面积双包层光纤、3m 长的锥形双包层光纤和 2m 的单模光纤组成，锥形双包层光纤的边界为斜线，锥形双包层光纤也可以以抛物线的形状变化。

3）将大模式面积双包层光纤距输入端面 0.5m 处，剥掉 10cm 长的外包层 2，在高压下掺氢增敏后，在紫外光（波长为 248nm）照射下用掩膜法在大模式面积纤芯 4 上制作出双包层光纤光栅 1，双包层光纤光栅 1 对泵浦光 λ_p 高透过率（大于 85％），对激光 λ_s 全反（大于 99％），涂覆折射率匹配涂层 13，用封装套管 12 进行封装（如图 2a）。

4）将单模光纤距输出端面 0.5m 处，剥掉 10cm 长的外包层 2，在高压下掺氢增敏后在紫外光（248nm）照射下用掩膜法在单模纤芯 8 上制作出单模光纤光栅 9，单模光纤光栅 9 对激光 λ_s 反射率为 3-4％，涂覆折射率匹配涂层 13 和用封装套管 12 进行封装（如图 2b），

5）使用高功率大模式面积双包层光纤单模激光器时，如图 3 所示，将相同直径的泵浦源输出光纤 10 与大模式面积双包层光纤相连接将泵浦光 λ_p 耦合进大直径内包层 3 里，从而实现全光纤化结构，在

单模光纤的输出端连接单模光纤 11，用于激光传输。

发明人给出本发明的第二个实施例，在图 3 中，用单模光纤 11 纤芯上的光纤光栅 14 代替单模纤芯 8 上的单模光纤光栅 9，制作光纤光栅 14 与第 4 步制作单模光纤光栅 9 的方法相同，其它组件的联接关系与第一个实施例相同。

上述实施例中所选择的参数都可以根据实际设计要求来选择。

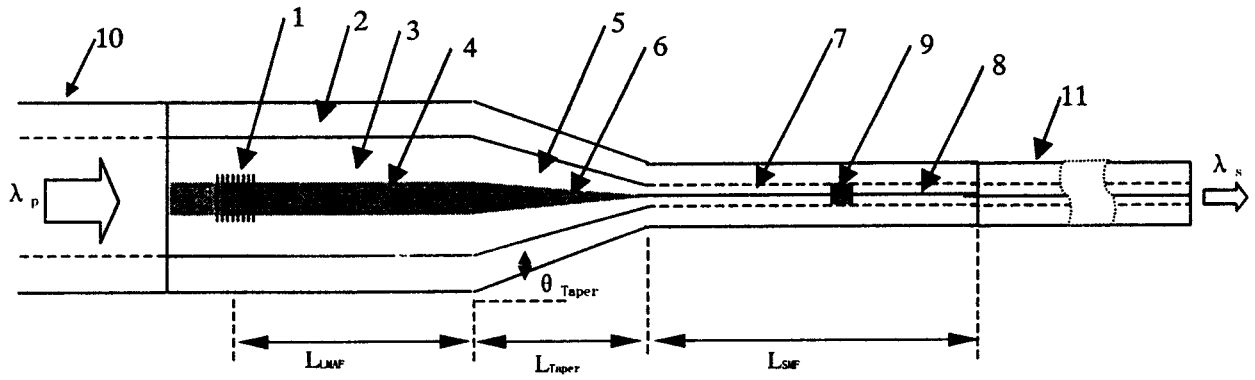

10
1
2
3
4
5
6
7
9
8
11
λ p
λ s
θ Taper
LLMF
LTaper
LSMF

图 1

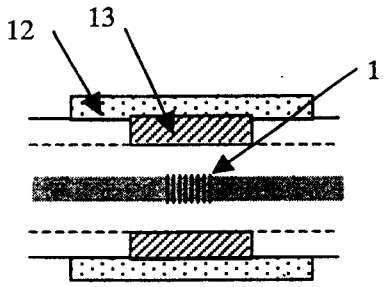

12
13
1

图 2a

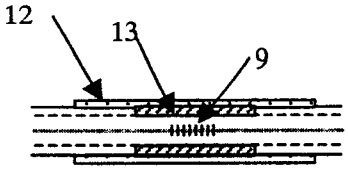

12
13
9

图 2b

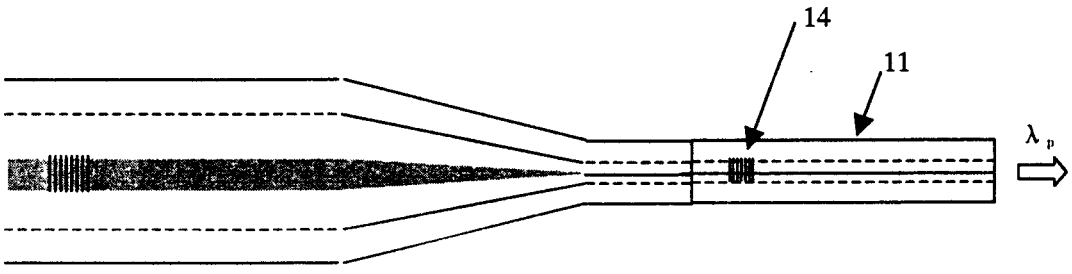

14
11
λ p

图 3