



[12] 实用新型专利说明书

[21] ZL 专利号 200320112690.7

[45] 授权公告日 2004 年 10 月 20 日

[11] 授权公告号 CN 2650355Y

[22] 申请日 2003.11.6

[21] 申请号 200320112690.7

[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

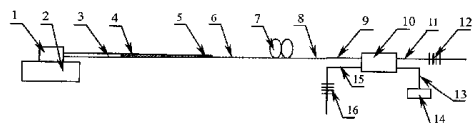
代理人 梁爱荣

权利要求书 3 页 说明书 8 页 附图 1 页

[54] 实用新型名称 高功率、窄线宽双包层光纤激光器

[57] 摘要

本实用新型涉及光纤激光器，利用布拉格光纤光栅的反射对掺稀土离子的双包层光纤的宽带荧光光谱进行第一次窄带滤波，然后利用莫尔相移光纤光栅的透射进行第二次窄带滤波形成高功率、窄线宽激光输出。双包层光纤激光器包括：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、双包层光纤 7 的第一端 6 和第二端 8、第一和第四输入端口光纤 9 和 15、耦合器 10、第二和第三输出端口光纤 11 和 13、光纤布拉格光纤光栅 12、匹配液 14、莫尔光纤光栅 16。利用莫尔相移光纤光栅和布拉格光纤光栅，使制作工艺简单、结构紧凑、工作可靠，有利于与后续光纤光学系统的匹配兼容。适用于超高密度的波分复用技术和超高精度光学信息测量。



1、高功率、窄线宽双包层光纤激光器，包括：泵浦源（1），温控装置（2），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），双包层光纤（7）包括：双包层光纤第一端（6），双包层光纤第二端（8），耦合器（10）包括：第一输入端口光纤（9）、第二输出端口光纤（11）、第三输出端口光纤（13）、第四输入端口光纤（15），布拉格光纤光栅（12）、匹配液（14）、莫尔光纤光栅（16），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），使泵浦源（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；锥度光纤第一端（4）和锥度光纤第二端（5）分别与尾纤（3）和双包层光纤第一端（6）固定连接，双包层光纤第二端（8）与第一输入端口光纤（9）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）的直径、数值孔径与双包层光纤第一端（6）内包层的准直径、数值孔径相同；双包层光纤第二端（8）的纤芯的直径、数值孔径与第一输入端口光纤（9）纤芯的直径、数值孔径相同；布拉格光纤光栅（12）是在第二输出端口光纤（11）上、采用相位掩模板法或全息法刻写的窄反射带宽、高反射率的布拉格光纤光栅，第三输出端口光纤（13）浸入匹配液（14）中，莫尔相移光纤光栅（16）是利用莫尔原理在第四输入端口光纤（15）上制作 $\lambda/4$ 相移光栅，第四输入端口光纤（15）的一端与耦合器（10）相连、另一

端为高功率、窄线宽激光输出端。

2、根据权利要求1所述的高功率、窄线宽双包层光纤激光器，其特征在于：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1所述的高功率、窄线宽双包层光纤激光器，其特征在于：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1所述的高功率、窄线宽双包层光纤激光器，其特征在于：所说的锥度光纤第二端（5）的直径、数值孔径与双包层光纤第一端（6）的内包层的准直径、数值孔径相同。

5、根据权利要求1所述的高功率、窄线宽双包层光纤激光器，其特征在于：所说的双包层光纤第二端（8）的纤芯的直径、数值孔径与第一输入端口光纤（9）纤芯的直径、数值孔径相同。

6、根据权利要求1所述的高功率、窄线宽双包层光纤激光器，其特征在于：所说的布拉格光纤光栅（12）的反射中心波长位于耦合器（10）的工作波长范围内。

7、根据权利要求1所述的高功率、窄线宽双包层光纤激光器，其特征在于：所说的布拉格光纤光栅（12）是在第二输出端口光纤（11）上、采用相位掩模板法或全息法刻写的窄反射带宽、高反射率的布拉格光纤光栅，布拉格光纤光栅（12）的反射带宽的选择略小于莫尔相移光纤光栅（16）的反射带宽，布拉格光纤光栅（12）的反射谱选择

带有平坦顶部的反射谱,边模抑制比大于 20dB,布拉格光纤光栅(12)的反射中心波长与莫尔相移光纤光栅(16)的窄线宽透射峰的中心波长相同。

8、根据权利要求 1 所述的高功率、窄线宽双包层光纤激光器,其特征在于:莫尔相移光纤光栅(16)是利用莫尔原理在第四输入端口光纤(15)上制作 $\lambda/4$ 相移光栅,在光栅区只引入一个 $\lambda/4$ 相移点且位于光栅中央位置保证窄线宽透射峰的透射率最大。

高功率、窄线宽双包层光纤激光器

技术领域:

本实用新型属于光纤激光器技术领域，特别涉及高功率、窄线宽激光输出的双包层光纤激光器。

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掺杂的稀土离子，从而达到高功率激光输出。高功率、窄线宽激光器，对于发展超高密度的波分复用光通信技术和超高精度光学信息测量仪器具有重要应用价值。

在先技术中，窄线宽激光输出是通过分布反馈（DFB）激光器实现的。参见在先技术[G.P.Agrawal and A.H..Bobeck, “Modeling of distributed feedback semiconductor lasers with axially-varying parameters”, *IEEE J.Quantum Electron.*, 1988, 24: 2407-2414] 报道，波导光栅中引入 $\lambda/4$ 相移 (π 相移)，可以把分布反馈（DFB）激光器的激射模从阻带两侧移到阻带中部，从而消除两纵模之间的竞争，提高单模成品率，形成窄线宽激光输出。由于半导体工艺的限制，难以实现高功率的窄线宽激光输出。双包层光纤激光器中的包层泵浦技术使高功率激光输出成为可能，但由于工艺限制，谐振腔腔镜反射带宽不

能做得很窄，所以很难作到窄线宽的激光输出。

发明内容：为解决背景技术半导体工艺复杂，难以实现高功率、窄线宽激光输出等问题，本实用新型的目的是采用锥度光纤、双包层光纤、耦合器、布拉格光纤光栅以及莫尔相移光纤光栅，实现一种高功率、窄线宽的双包层全光纤结构的激光器。

本实用新型高功率、窄线宽双包层光纤激光器的结构，如图1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，双包层光纤包括：双包层光纤第一端，双包层光纤第二端，耦合器包括：第一输入端口光纤、第二输出端口光纤、第三输出端口光纤、第四输入端口光纤，布拉格光纤光栅、匹配液、莫尔光纤光栅，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；锥度光纤第一端和锥度光纤第二端分别与尾纤和双包层光纤第一端固定连接，双包层光纤第二端与第一输入端口光纤固定连接，锥度光纤第一端与尾纤末端的直径、数值孔径相同，锥度光纤第二端的直径、数值孔径与双包层光纤第一端的内包层的准直径、数值孔径相同，双包层光纤第二端的纤芯的直径、数值孔径与第一输入端口光纤纤芯的直径、数值孔径相同；布拉格光纤光栅是在第二输出端口光纤上、采用相位掩模板法或全息法刻写的窄反射带宽、高反射率的布拉格光纤光栅，第三输出端口光纤浸入匹配液中，莫尔相移光纤光栅是利用莫尔原理在第四输入端口光纤上制作 $\lambda/4$ 相移光栅（又称 π 相移相移），第四输入端口光纤的一端与耦合器相连、另一端为高功率、

窄线宽激光输出端。

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的直径、数值孔径与双包层光纤第一端的内包层的准直径、数值孔径相同。

所说的双包层光纤第二端的纤芯的直径、数值孔径与第一输入端口光纤纤芯的直径、数值孔径相同。

所说的布拉格光纤光栅的反射中心波长位于耦合器的工作波长范围内。

所说的布拉格光纤光栅是在第二输出端口光纤上、采用相位掩模板法或全息法刻写的窄反射带宽、高反射率的布拉格光纤光栅，所说的布拉格光纤光栅的反射带宽的选择略小于莫尔相移光纤光栅的反射带宽，布拉格光纤光栅的反射谱选择带有平坦顶部的反射谱，边模抑制比大于 20dB，布拉格光纤光栅的反射中心波长与莫尔相移光纤光栅的窄线宽透射峰的中心波长相同。

所说的莫尔相移光纤光栅是利用莫尔原理在第四输入端口光纤上制作的 $\lambda/4$ 相移光栅（又称 π 相移相移），在光栅区只引入一个 $\lambda/4$ 相移点且位于光栅中央位置保证窄线宽透射峰的透射率最大。

本实用新型激光器的制作方法：首先对泵浦源加电，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的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双包层光纤的纤芯，双包层光纤纤芯内掺杂的稀土离子产生增益而形成宽带荧光光谱，利用布拉格光纤光栅的反射对掺稀土离子的双包层光纤的宽带荧光光谱进行第一次窄带滤波，然后利用莫尔相移光纤光栅的透射进行第二次窄带滤波形成高功率、窄线宽激光输出的双包层光纤激光器。

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，使双包层光纤纤芯内掺杂的稀土离子产生增益而形成宽带荧光光谱，此宽带荧光通过耦合器的第一输入端口光纤耦合到耦合器的第二输出端口光纤，被布拉格光纤光栅反射，完成第一次窄带滤波，形成的窄带光又耦合到耦合器的第四输入端口光纤，被莫尔相移光纤光栅透射，完成第二次窄带滤波，第三输出端口光纤浸入匹配液中来减少第三输出端口光纤的端面反射，第四输入端口光纤的一端与耦合器相连、另一端为高功率、窄线宽激光输出端。

本实用新型的优点：为解决背景技术半导体工艺复杂，难以实现高功率的窄线宽激光输出等问题，本实用新型制作具有窄线宽透射峰的莫尔相移光纤光栅，使窄线宽双包层光纤激光器的制作工艺简单；包层泵浦技术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；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，锥度光纤第二端的直径、

数值孔径与双包层光纤第一端的内包层的准直径、数值孔径相同，从而减少了它们之间的熔接损耗，提高了光纤激光器的工作可靠性；锥度光纤的使用大大提高了泵浦效率，实现了全光纤化的光耦合，使光纤激光器的结构紧凑；高功率、窄线宽激光从第四输入端口光纤末端输出，有利于本实用新型光纤激光器与后续光纤光学系统的匹配兼容。本实用新型适用于超高密度的波分复用光通信技术和超高精度光学信息测量仪器。

附图说明：

图 1 为本实用新型的结构示意图

图 2 为本实用新型实施例中布拉格光纤光栅的反射光谱曲线

图 3 为本实用新型实施例中莫尔相移光纤光栅的透射光谱曲线

具体实施方式：

本实用新型如图 1 所示的结构，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，双包层光纤 7 包括：双包层光纤第一端 6，双包层光纤第二端 8，耦合器 10 包括：第一输入端口光纤 9、第二输出端口光纤 11、第三输出端口光纤 13、第四输入端口光纤 15，布拉格光纤光栅 12，匹配液 14，莫尔光纤光栅 16，上述部件置于机壳中。

当本实用新型选择的输出的激光中心波长为 1064nm，功率为 12W，激光线宽为 0.01nm 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，其发射中心波长为 910 nm

-920nm 或 972nm-977nm 的泵浦光。

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 18W。

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 $200\mu\text{m}$,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 μm 。

锥度光纤的第一端 4 与尾纤 3 连接, 锥度光纤的第二端 5 与双包层光纤第一端 6 连接, 双包层光纤第二端 8 与第一输入端口光纤 9 连接, 连接方式可选择光纤熔接机熔接或光纤对接。

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 180nm-3000nm。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 μm , 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 μm 、内包层数值孔径可选择为 0.45, 外包层直径可选择为 125 μm 。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。

第一输入端口光纤 9、第二输出端口光纤 11、第三输出端口光纤 13 和第四输入端口光纤 15 为相同光纤, 它们的工作波长可选择为 180nm-3000nm、纤芯直径和数值孔径与双包层光纤第二端 8 的纤芯直径和数值孔径相同。在本实施例中, 第一输入端口光纤 9 的纤芯直径可选择为 9 μm , 纤芯数值孔径可选择为 0.175, 外包层直径可选择为 125 μm 。

耦合器 10 是分束比为 1: 1 的 3dB 耦合器, 耦合器 10 的工作中心波长可选择为 1064nm, 工作波长范围可选择为 6nm。

布拉格光纤光栅 12 是在第二输出端口光纤 11 上采用相位掩模板法或全息法刻写的窄反射带宽、高反射率的布拉格光纤光栅, 布拉格

光纤光栅 12 的反射带宽略小于莫尔相移光纤光栅 16 的反射带宽, 布拉格光纤光栅 12 的反射中心波长位于耦合器 10 的工作波长范围内, 布拉格光纤光栅 12 的反射谱顶部要平坦, 边模抑制比大于 20dB, 使布拉格光纤光栅 12 的反射谱顶部平坦、边模抑制比大于 20dB 的变迹技术可选择高斯变迹法、升余弦函数法或莫尔效应法, 利用莫尔效应对光纤光栅变迹的方法有对称施加应力法, 莫尔相位板法和角度干涉法。布拉格光纤光栅 12 的反射中心波长与莫尔相移光纤光栅 16 的窄线宽透射峰的中心波长相同。在本实施例中, 对双包层光纤 7 的宽带荧光光谱进行第一次窄带滤波的布拉格光纤光栅 12 的反射峰中心波长可选择为 1064.076nm、反射带宽可选择为 0.3nm、反射率可选择为 99.9%。

匹配液 14 是折射率与第三输出端口光纤 13 纤芯折射率相同的溶液, 用来减小第三输出端口光纤 13 光纤端面的反射。

莫尔相移光纤光栅 16 为在第四输入端口光纤 15 上通过拉伸和二次曝光方法, 利用莫尔原理制作的 $\lambda/4$ 相移(又称 π 相移)光纤光栅, 在光栅区只引入一个 $\lambda/4$ 相移点且位于光栅中央位置以确保窄线宽透射峰的透射率最大。莫尔相移光纤光栅 16 的透射峰中心波长可选择为 1064nm、透射带宽可选择为 0.01nm、透射率可选择为 100%、反射带宽可选择为 0.37nm, 第四输入端口光纤 15 的一端与耦合器 10 相连、另一端为高功率、窄线宽激光输出端。

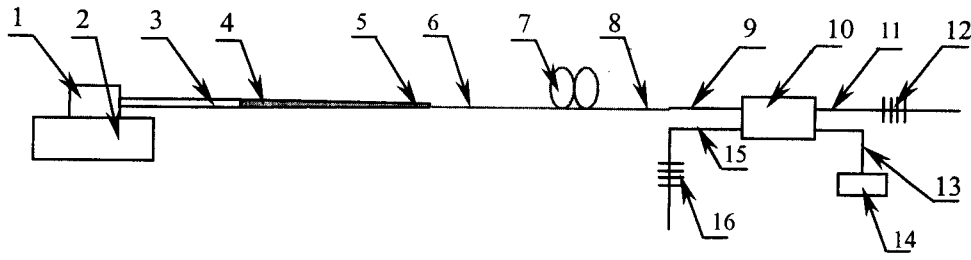


图 1

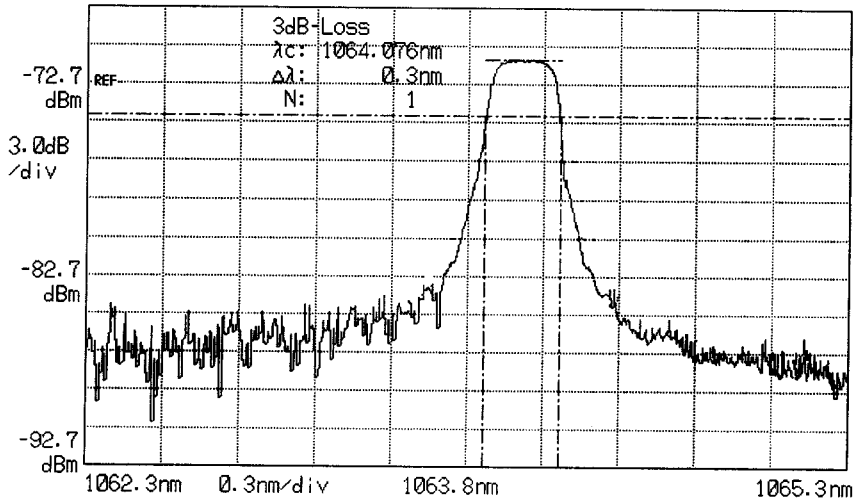


图 2

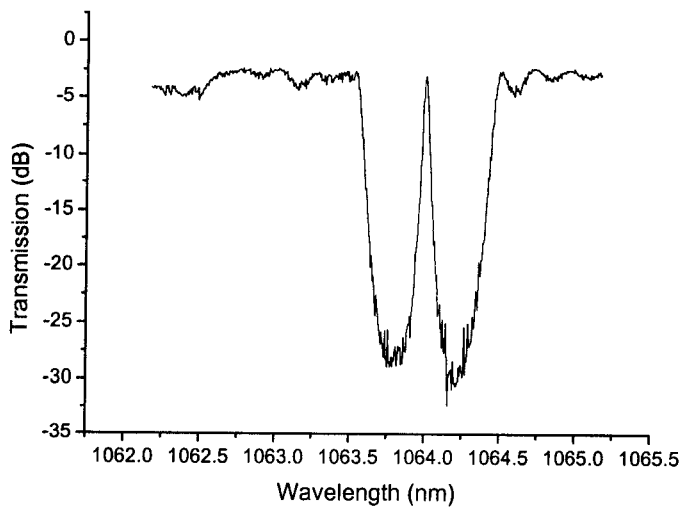


图 3