

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

G02B 6/28 (2006.01)

H01S 3/09 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200410049074.0

[45] 授权公告日 2008年6月25日

[11] 授权公告号 CN 100397124C

[22] 申请日 2004.6.11

[21] 申请号 200410049074.0

[30] 优先权

[32] 2003.6.13 [33] US [31] 10/461, 133

[73] 专利权人 古河电子北美公司

地址 美国佐治亚

[72] 发明人 戴维·J·迪乔瓦尼

安德鲁·D·亚布隆

[56] 参考文献

US6433927B1 2002.8.13

JP2002-6169A 2002.1.9

US5864644A 1999.1.26

US6043929A 2000.3.28

JP5-7037A 1993.1.14

US4701011A 1987.10.20

US6434302B1 2002.8.13

审查员 田喜庆

[74] 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利
商标事务所

代理人 王宪模

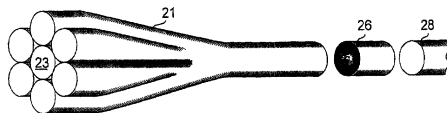
权利要求书2页 说明书6页 附图3页

[54] 发明名称

包层泵浦光纤增益器件

[57] 摘要

本发明涉及光纤增益器件，诸如，激光器和放大器，其中由于位于输入段和输出段之间的大阶跃过渡而产生的损耗被减小，这是通过在所述输入段和增益段之间插入以绝热变换器来实现。在优选的情形中，所述绝热变换器包括一梯度折射率透镜。该透镜充当一绝热光束扩展器(收缩器)来可控地增加(减小)在光束传播通过所述阶跃过渡时的模场。



- 1、一种光增益器件，包括：
 - a. 一输入光纤，该输入光纤具有第一模场直径 D_1 ，
 - b. 一光纤绝热变换器段，该光纤绝热变换器段包括一梯度折射率光纤，
 - c. 一光纤增益段，该光纤增益段包括一具有第二模场直径 D_2 的光纤，其中第二模场 D_2 大于第一模场直径 D_1 的 10 倍以及
 - d. 用于对所述光纤增益段进行光泵浦的装置，其中所述梯度折射率光纤具有的折射率的梯度使得通过所述梯度折射率光纤的光束具有从 D_1 扩展到 D_2 的模场，所述输入光纤被熔合连接到所述梯度折射率光纤，以及所述梯度折射率光纤被熔合连接到所述光纤增益段的光纤从而形成一个包括所述输入光纤、所述光纤绝热变换器段以及所述光纤增益段的整体玻璃体。
- 2、如权利要求 1 所述的器件，其特征在于，所述用于对增益段进行光泵浦的装置为一端泵浦。
- 3、如权利要求 1 所述的器件，其特征在于，所述用于对增益段进行光泵浦的装置为一侧泵浦。
- 4、如权利要求 2 所述的器件，其特征在于，所述用于对增益段进行光泵浦的装置为具有一输入部分和一输出部分的泵浦组合器段，所述输入部分包括被一根或多根泵浦纤维包围起来的一主纤维构成一组件。
- 5、如权利要求 3 所述的器件，其特征在于，所述用于对增益段进行光泵浦的装置为一分布泵浦段，该分布泵浦段包括一被一根或多根泵浦纤维包围的增益纤维。
- 6、如权利要求 5 所述的器件，其特征在于，所述梯度折射率光纤段包括一具有四分之一节距 长度 L_1 的四分之一节距 平方律介质。
- 7、如权利要求 6 所述的器件，其特征在于，所述梯度折射率光

纤段的长度为 L_2 ，其中 L_2 小于 L_1 。

8、如权利要求 7 所述的器件，其特征在于，所述梯度折射率光纤段的长度为 L_2 ，其中 L_2 大于 L_1 。

9、如权利要求 1 所述的光增益器件，其中，增益纤维被弯曲以减小不需要的高阶模。

包层泵浦光纤增益器件

技术领域

本发明涉及具有改进后的高增益性能的光纤增益器件。更具体地说，本发明涉及包层泵浦激光器和放大器。

背景技术

利用掺杂了稀土的增益段 (gain section) 的光纤激光器和放大器被广泛用在光波通信系统中。一种实施这些器件的优选方法是将泵浦能引入到包层中。泵浦能可以在与信号相同的方向上或者相反的方向上传播。在一个尤其有效的实施方式中，多路泵浦光纤束捆围绕在承载信号模或者基频激光模(fundamental laser mode)的光纤周围，并且被连接到所述信号光纤的包层上。这里所称的“主光纤”含义是在光纤放大器中和/或在激光纤维中的激光模中承载信号的光纤。多模泵浦光被引入到所述多路泵浦光纤中并耦合到主光纤的包层上。另外，泵浦纤维和信号纤维可以沿着其长度被包含在一个共同的包层内，能容许“侧泵浦”。其它复用方法可以被使用，但是，在每种复用法中，“主光纤”承载着信号模或激光模。一增益段被设置以容许泵浦能被耦合到主光纤的包层中，从而放大或提供能量给位于主光纤芯中的传播模。对于激光器和放大器有用的包层泵浦光纤结构在 US5418880, 5937134, 以及 5966491 中有更加详细的描述，这些文献在此引入作为参考。

用于将多根泵浦纤维束捆和连接到一根主光纤上的工艺在美国专利 US5864644 中公开和要求保护，该文献也在此引入作为参考。该工艺包括：将多根泵浦纤维围绕着主光纤设置并将它们熔合在一起。在一种优选的情形中，熔合后的光纤束被牵伸使得熔合后的光纤束的直径大体等于主光纤的直径。然而，这种方法也带来了没想到的结果，即，主光纤的芯大大地减小了。因此，正如上文所述，泵浦组合器段通常联接到一具有更大芯直径的增益段。在增益段中的更大芯直径对

于增强芯与包层的面积比很有用，对于最大化给定长度的增益段上光能传输很有用。

便利地是，对于在增益段中设置更大的芯直径有其它的好处。在非常高功率的器件中，增益段，有时也被称作激活区，具有一高的光能密度。如果该能量密度太高，将会对所述结构产生损害，或者产生非线性损害。在现有技术增益器件中的增益段用非常大的芯支撑，使得高的总能级可以被使用同时保持在容许能量密度范围内。然而，将在增益段中使用大的芯和在泵浦组合器段中使用减小的芯，会导致在被放大的信号（或基频激光模）被从泵浦组合器段传递到增益段时产生突变台阶。在该台阶传递光束可能会产生很大的损失。

发明内容

根据本发明，通过在光纤增益器件的输入段和增益段之间插入一绝热变换器，从而减小了由于在所述输入段如泵浦组合器段与增益段之间由于阶跃过渡而产生的损耗。在优选的情形中，所述绝热变换器包括一梯度折射率光纤透镜。该透镜充当一绝热光束扩展器来可控地增加在光束传播进入到所述增益段中时的模场。泵浦能可以在与信号相同或相反的方向上传播，本发明在两种情形中都适用。当模变换器在相反的方向上工作时，就象反向泵浦的情形，其作为一绝热光束集中器工作。

附图说明

通过参照附图，本发明将获得更好的理解，其中：

图 1 示意地示出了一个多纤维泵浦组合器段；

图 2 示意地示出了一典型的信号输入光纤、一典型泵浦组合器段的输出、以及一典型增益段的输入的相关芯直径，该示意图示出了在芯直径和模场中的不一致；

图 3 为一泵浦组合器段的视图，该泵浦组合器通过一根据本发明的梯度折射率透镜元件（GRIN lens element）而耦合到一增益段上；

图 4 示意地示出了在图 3 中示出的三个元件中的模场图；

图 5 示意地示出了在一典型四分之一节距长度的平方律介质的模场;

图 6 和 7 为泵浦组合器的另外两个备选类型。

具体实施方式

参照附图 1, 标号 11 标识的是一种已有的泵浦组合器段 (pump combiner section)。这种泵浦组合器在美国专利 US5864644 中详细公开, 该文献在这里引入作为参考。多个多模泵浦光纤 13, 这里为 6 根, 以如图所示圆型结构形成一束。标号 15 所标识的是承载着要被放大的信号的光纤, 或者在激光装置情形中带有主动激光谐振器的光纤。在本发明说明书的各部分中, 激活光波导, 不论是对于激光器还是放大器, 将都被称作信号光纤。整个光纤束被熔合在一起并被牵伸, 从而形成由标号 16 标识的组合段。在这个附图中, 由于牵伸所造成的变细大约为 1/3, 信号纤维的芯变细了大约 1/3。

该泵浦组合器段被接合到一由标号 17 标识的增益段上。

图 2 示出当光从光纤 15 输入, 经过由泵浦组合器 11 产生的变细段 16, 然后进入增益段 17 进行传递时, 在光通路上有严重的不连续性。在图 2 中, 只有相应元件的芯 18、19 和 20 被示出。按照先前给出的例子, 在输入端 15 的芯直径 18 为标准的单模芯直径, 例如大约为 99 微米。这个芯在泵浦组合器 (芯 19) 减小到 3 微米。增益段的芯 20 被作的很大以防止受到过大功率密度的损害, 该芯 20 大约为 50 微米。很显然, 从泵浦组合器段 16 的芯 19 出来并发射进入到增益段的芯 20 中的光束经历了一次严重的阶跃扩展 (step expansion)。同样很显然, 这样一个大的阶跃能使得在光束中光能的很大部分被耦合到高阶模中, 并最终降级为所需的放大率。

为了减小位于泵浦组合器段和增益段之间不连续性的严重程度, 在这些元件之间插入一绝热变换器。绝热变换器是一种变换模场直径而没有显著功率损失的元件。实现这种功能的优选元件是一梯度折射率透镜。合适的梯度折射率透镜元件在美国专利 US4701011 中有公开, 其中梯度折射率透镜元件被用作位于光纤之间的一简单低损耗耦合

器。该专利文献这里被引入作为参考当作对梯度折射率透镜元件的描述。梯度折射率透镜的一个特征在于其折射率从透镜的中心径向地呈抛物线单值梯度。在一个典型实施例中，梯度折射率透镜具有圆柱形状，其折射率从圆柱的中心轴线到透镜的外表面呈抛物线梯度。

图 3 示出了上文描述的这种结构。标号 21 标识泵浦组合器段，标号 23 标识信号纤维，标号 26 标识梯度折射率透镜，以及标号 28 标识增益段的输入部分。为了清楚起见，三个元件以分离状态示出。当组装成最后的器件时，这些元件被熔合到一起或接合到一起，采用标准的光纤熔合连接技术。在所述优选的情形中，元件 26 是一段具有与元件 21 和 28 相同包层外部直径的光纤。

图 4 示出在耦合起来的各段 21、26 和 28 上传播的光束的模图样。标号 31 所示的是从泵浦组合器段出来的减小了面积的光束。当耦合到梯度折射率透镜元件 26 上时，模场如图所示可控制地扩展。梯度折射率透镜的长度的选择使得透镜的输出端，即，界面 33，产生在光束斑尺寸和光束相位曲率大体上与增益段 28 的相应特性匹配。这样能够使得光束进入增益段具有一适当扩展和准直的模场 34，并且基本上没有介入损耗。

梯度折射率透镜可以包括一段具有单值抛物线折射率梯度的光纤。也可以由一段具有该特性的塑料或其它透明体。非常适合于用于本发明的梯度折射率光纤包括所谓的平方律介质 (square law medium)。在平方律介质中折射率的径向相关性为：

$$n(r)=n_0[1-g^2r^2]^{0.5}$$

其中， n_0 为在光轴上的折射率， g 为由下述公式给出的聚焦参数：

$$g=(2\Delta)^{0.5}/a$$

其中 $\Delta(=[n_0-n(a)]/n(a))$ 为在中心芯 (n_0) 和包层之间折射率差 (表示成分数)， a 为芯的半径。在元件 26 中的高斯光束特性的其它细节由 Kishimoto et al 等在 1982 年 6 月版的 IEEE Trans. Microwave Theory Tech. Vol.MTT-30, No.6,pp.882-893, 中给出，该文献这里引入作为参考。

在一段长度上一平方律介质完全扩展或者完全收缩一具有初始平面相前的光束，该段长度被称为四分之一节距(pitch)长度，该长度等于 $\pi/2g$ ，其中 g 为上文中限定的聚焦参数。

本发明的绝热变换器在图 5 中示意地示出，其中，模场的图样由标号 51 标识。在一个典型四分之一节距长度的梯度折射率透镜中，长度 L_1 为四分之一节距长度。长度 L_2 选定在例如 52 标识的一个位于所传播的光波前中的位置处，所述光波前对应于耦合到所述增益段 28 中所需的模场。在一个优选的情形中，元件 26 的长度等于或者近似等于四分之一节距长度。然而，也有些情形中，所述尺寸小于或大于优选长度，在这种情况下，长度 L_2 变得比 L_1 更短或更长（如例中示出）。

应当理解，尽管在本发明中适宜使用一真正的四分之一节距器件，但是其它的不按照平方律行为的透镜也是可以使用的。

在接合图 2-5 描述的例子中，在所述器件的增益段中的芯直径示出为在泵浦组合器段输出部分处芯直径的大约为 17 倍。该比率越大，则越需要根据本发明的绝热变换器。本发明的主要是涉及下述的增益器件，即，该增益器件中代表着增益段中的芯直径和泵浦组合器段的输出部分处的芯直径之间不匹配程度的所述比率至少为 2，更加典型地是大于 10。在有些情形中，将增益段弯曲以除去不想要的模可能比较有利。

上文描述和图中示出的泵浦组合器段可以认为是端泵浦结构，其仅仅是几种泵浦结构中的一种。例如，光泵浦和增益段可以被组合起来，而不是将两个不同的串连设置的元件。在这种情况下，泵浦沿着增益段分布，类似于一个侧泵浦器件。这种总体结构的器件在美国专利 US4553238 中有公开。

在图 6 和 7 中示出了一个带有分布泵浦段的器件。适应性地，标号 61 标识的是光纤增益段的端部视图。泵浦源为一多模光纤 62，该多模光纤被与增益纤维并排设置。当这些纤维足够靠近时，从泵浦纤维而来的能量就传递给增益纤维。这种现象已经是公知的，并且在光

耦合器中有时被采用。在图 6 中，两个并排的纤维 61 和 62 示出具有共同的覆层 63。这种泵浦结构的多种形式是可能的。类似于在图 3 中示出的泵浦组合器的输入端所示情形，可以使用多于一根的泵浦纤维在结构中。泵浦纤维和增益纤维可以进行牵伸而变成一更小的直径，并且如果需要可以熔合在一起。然而，如果它们被组装的非常靠近就足够了。图 7 示出了图 6 中分布泵浦的实施例，示出了输入和输出端。在图 6 中为增益段的代表性剖面，其由标号 63 标识。在该器件中的增益量近似正比于增益段的长度，即，纤维所沿着耦合的长度。标号 61 标识增益纤维，其承载着光信号或者激光模。标号 62 标识泵浦纤维。模场直径由圆圈 65, 66 代表。本发明的绝热变换器由标号 67 和 68 标识。在该器件中，示出了两个变换器。位于输入侧的变换器 67 将模场扩展以匹配在增益段的模场。第二变换器 68 被用于朝相反方向将模场图返回到原始形状，或如果需要不同尺寸的模场区域(输入 vs 输出)则减小模场图。如箭头所示，泵浦光可以在任何一方向上传播。

这里参照一增益段或增益器件来描述是意图描述增强位于光纤中传播的光波的功率的光纤装置。这些光纤中被掺杂了一种稀土元素，典型地为钇，或者掺杂了稀土元素 Er, Nd, Yb, Sm, La, Ce, Pr, Pm, Gd, Tb, Dy, Ho, Tm, Lu 的组合物。其它的掺杂物如 Al, P 也经常存在。

对于本领域技术人员来讲，可以对本发明进行各种其它变化。所有在本发明的具体教导下并依赖于已有技术已经教导的原理和等同物而获得的派生物都应当考虑被认为是本发明权利要求保护范围内。

图1 (现有技术)

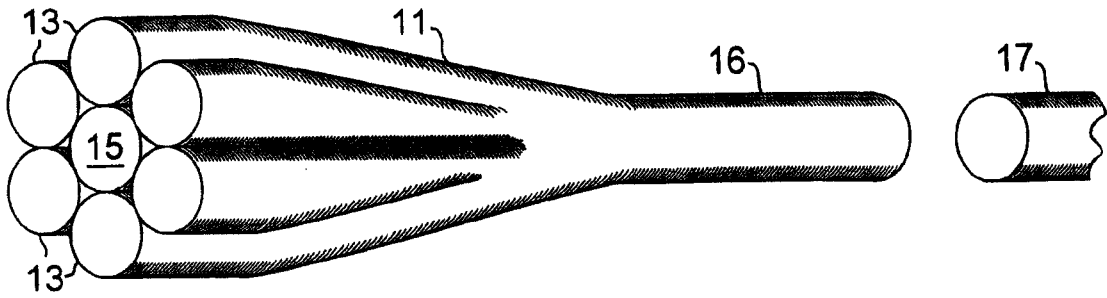


图2 (现有技术)

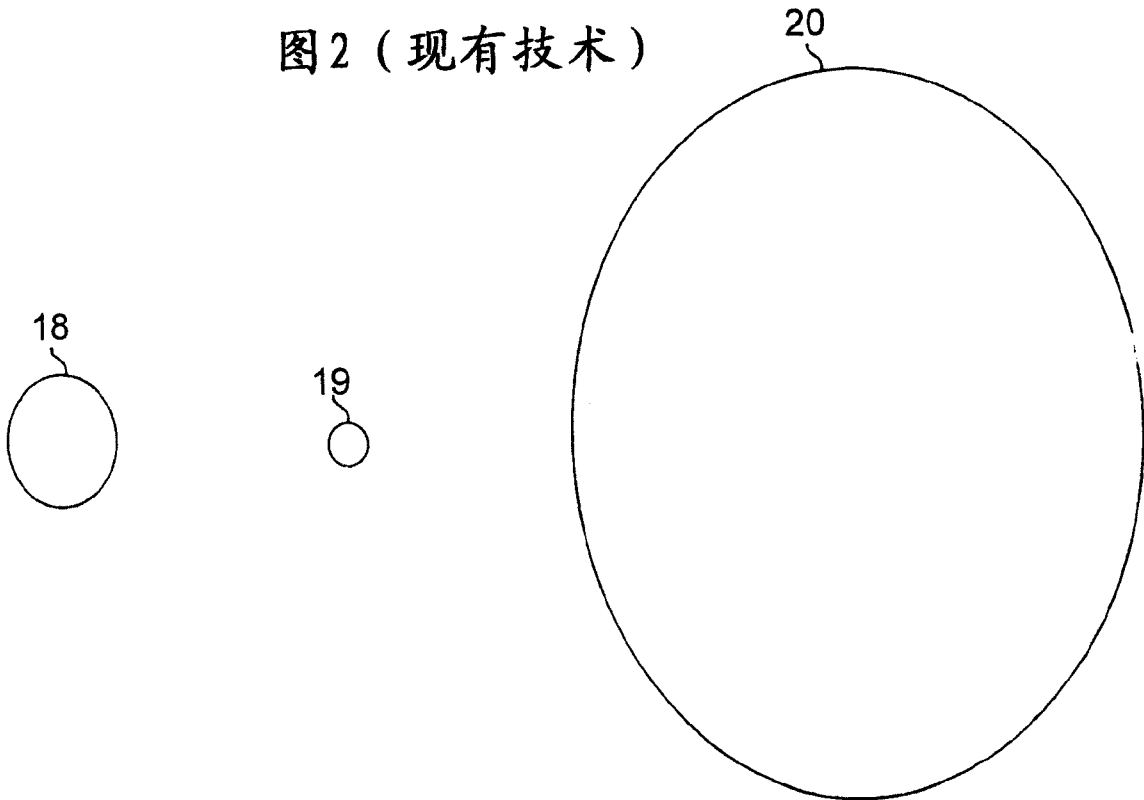


图 3

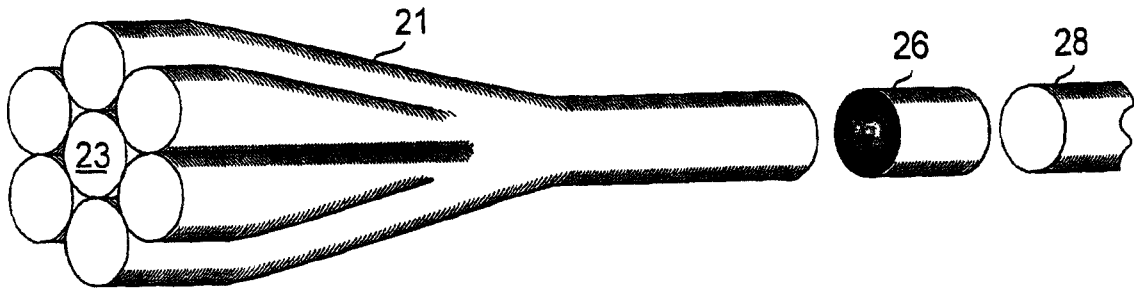


图 4

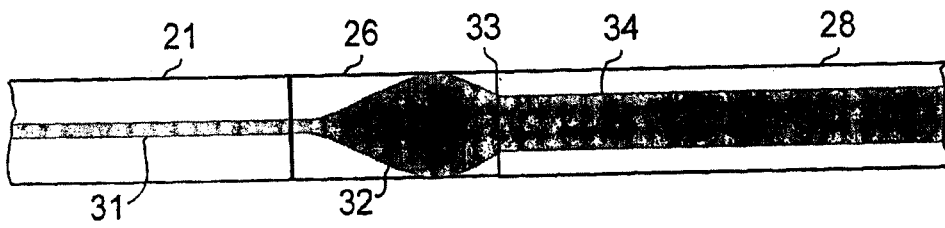


图 5

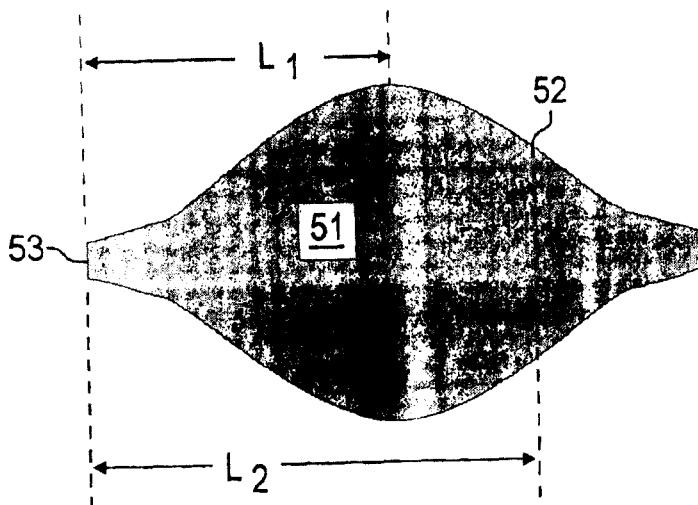


图6

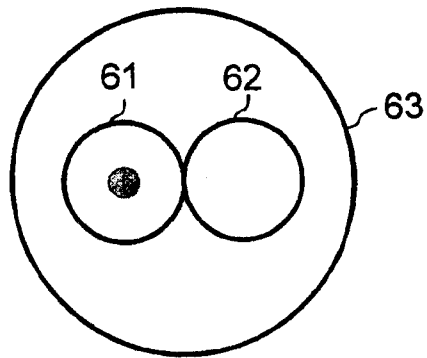


图7

