



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104617470 A

(43) 申请公布日 2015.05.13

(21) 申请号 201510013975.2

H01S 3/10(2006.01)

(22) 申请日 2015.01.12

(71) 申请人 中国人民解放军国防科学技术大学
地址 410073 湖南省长沙市开福区德雅路
109 号

(72) 发明人 周朴 王雄 张汉伟 王小林
肖虎 马阎星 司磊 许晓军
陈金宝 刘泽金

(74) 专利代理机构 国防科技大学专利服务中心
43202

代理人 李振

(51) Int. Cl.

H01S 3/067(2006.01)

H01S 3/0941(2006.01)

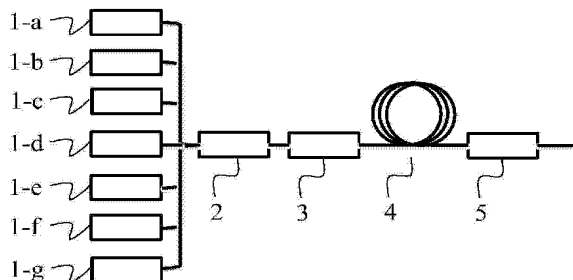
权利要求书1页 说明书5页 附图1页

(54) 发明名称

一种利用掺铒随机光纤激光器的掺铒光纤激光泵浦方法

(57) 摘要

本发明提出一种利用掺铒随机光纤激光器的掺铒光纤激光泵浦方法。该方法利用掺铒光纤激光器产生 1530-1590 纳米高功率输出,然后注入随机光纤激光器获得 1630-1700 纳米高功率随机光纤激光输出,最后对掺铒光纤激光器/放大器进行泵浦,获得高功率掺铒光纤激光输出。随机光纤激光器的结构简单、系统稳定,且保证了其较高的转换效率,利用波长为 1630-1700 纳米的随机光纤激光器输出对掺铒光纤激光器/放大器进行同带泵浦,可以有效提高吸收系数和泵浦效率,降低热管理的压力,最终可获得高功率、高效率、热管理方便的掺铒光纤激光。



1. 一种利用掺铒随机光纤激光器的掺铒光纤激光泵浦方法,其特征在于,包含以下步骤:

[1] 利用泵浦激光器,获得中心波长为 1530-1590 纳米的掺铒光纤激光输出;

[2] 将该激光注入 1630-1700 纳米掺铒随机光纤激光器中,获得随机光纤激光输出;

[3] 将多个 1630-1700 纳米掺铒随机光纤激光器作为泵浦源,注入掺铒光纤激光器或掺铒光纤放大器中,获得掺铒光纤激光输出。

2. 根据权利要求 1 所述的掺铒光纤激光泵浦方法,其特征在于:所述 1630-1700 纳米掺铒随机光纤激光器包括依次连接的前级功率合束器 (1-3)、1530-1590 纳米高反光纤光栅 (1-4)、双包层掺铒光纤 (1-5)、1530-1590 纳米低反光纤光栅 (1-6)、1630-1700 纳米高反光纤光栅 (1-7) 和被动光纤 (1-8)。

3. 根据权利要求 1 所述的掺铒光纤激光泵浦方法,其特征在于:所述掺铒光纤激光器包括依次连接的后级功率合束器 (2)、2 微米波段高反光纤光栅 (3)、双包层掺铒光纤 (4) 和 2 微米波段低反光纤光栅 (5)。

4. 根据权利要求 1 所述的掺铒光纤激光泵浦方法,其特征在于:所述掺铒光纤放大器包括 2 微米波段光纤激光种子源 (6)、信号-泵浦合束器 (7) 和双包层掺铒光纤 (4); 2 微米波段光纤激光种子源 (6) 和多个 1630-1700 纳米掺铒随机光纤激光器均与信号-泵浦合束器 (7) 连接,信号-泵浦合束器 (7) 后连接双包层掺铒光纤 (4)。

5. 根据权利要求 1 所述的掺铒光纤激光泵浦方法,其特征在于:所述泵浦激光器为 976 纳米或 915 纳米的半导体激光器。

6. 根据权利要求 1 所述的掺铒光纤激光泵浦方法,其特征在于:所述泵浦激光器为波长 1500 纳米附近的掺铒光纤激光器或铒/镜共掺光纤激光器。

7. 根据权利要求 2 所述的掺铒光纤激光泵浦方法,其特征在于:所述 1530-1590 纳米高反光纤光栅 (1-4) 和 1530-1590 纳米低反光纤光栅 (1-6) 的中心波长 λ_1 在 1530 到 1590 纳米之间选择。

8. 根据权利要求 2 所述的掺铒光纤激光泵浦方法,其特征在于:所述 1630-1700 纳米高反光纤光栅 (1-7) 的中心波长 λ_2 对应于根据 1530-1590 纳米高反/低反光纤光栅 (1-4/1-6) 中心波长计算的一级拉曼波长,计算公式:

$$\lambda_2 = \lambda_1 + \frac{\lambda_1^2 \times \Delta \nu}{c}$$

其中, $\Delta \nu = 13.2\text{THz}$ 为硅基光纤中的拉曼频移, c 为光速。

9. 根据权利要求 3 所述的掺铒光纤激光泵浦方法,其特征在于:所述 2 微米波段高反光纤光栅 (3) 和 2 微米波段低反光纤光栅 (5) 的中心波长,在铒的发射谱 1700-2200 纳米范围内选择。

10. 根据权利要求 4 所述的掺铒光纤激光泵浦方法,其特征在于:所述 2 微米波段光纤激光种子源 (6) 是单频种子源或宽谱的种子源,其中心波长在铒的发射谱 1700-2200 纳米范围内选择。

一种利用掺铒随机光纤激光器的掺铥光纤激光泵浦方法

技术领域

[0001] 本发明涉及掺铥光纤激光器 / 放大器, 是一种利用掺铒随机光纤激光器泵浦掺铥光纤激光器 / 放大器从而获得高功率掺铥光纤激光输出的新型泵浦方法。

技术背景

[0002] 掺铥光纤激光具有超宽发射谱 (1700-2200 纳米)、覆盖大气窗口以及人眼安全等优点, 在激光雷达、红外对抗、环境监测、材料加工、医学护理、非线性转换等领域有着广泛的应用前景, 成为近年来光纤激光的重要研究方向。铥离子在 790 纳米、1200 纳米和 1600 纳米附近有三个主要的吸收带。目前高功率掺铥光纤激光输出采用的主要是 790 纳米半导体激光器泵浦 (最高输出功率达到 1 千瓦) 和 1567 纳米掺铒光纤激光器泵浦 (最高输出功率达到 415 瓦)。由于固有的量子亏损, 利用 790 纳米半导体激光器泵浦掺铥光纤激光器 / 放大器将产生大量的废热, 从而大大增加了热管理的压力和困难。尽管铥离子的交叉弛豫效应可以将 790 纳米半导体激光器的泵浦效率大幅提高, 但光纤的高浓度掺杂也将进一步增加热管理的难度。利用 1200 纳米附近激光泵浦掺铥光纤激光器 / 放大器同样可以获得较高的泵浦效率, 但相关的研究较少, 目前公开报道的输出功率水平只有百瓦量级。利用 1600 纳米附近掺铒光纤激光器泵浦掺铥光纤激光器 / 放大器的方法, 由于固有量子亏损小, 可以显著提高量子效率, 降低系统产生的废热量, 从而有效地降低热管理的压力, 获得热管理方便的高功率掺铥光纤激光输出。但高功率掺铥光纤激光器的发射波长难以超过 1600 纳米 (铥离子在此波段吸收峰位于 1630-1700 纳米), 造成其对应的铥离子吸收截面较小, 因此泵浦效率受到了限制。加之掺铒光纤激光输出功率相对其他波段泵浦源较低, 从而在获得更高功率掺铥光纤激光输出上受到了限制。

[0003] 随机光纤激光器是一种新型的光纤激光器, 不同于常规光纤激光器利用光栅或者端面反射提供的反馈产生激光振荡, 该激光器利用光纤中随机的瑞利散射提供反馈, 并通过拉曼效应对散射光进行放大, 最终产生激光振荡输出。在阈值附近, 随机光纤激光器输出随机的脉冲, 且输出波长也具有一定的随机性; 泵浦光超过阈值时, 随机光纤激光器将输出连续激光, 且波长也稳定在泵浦波长的一级拉曼波长位置。通过改变泵浦波长, 可以获得不同波长的随机激光器输出。由于不需要光栅提供反馈, 随机激光器的结构简单、系统稳定, 且拉曼增益保证了其可观的转换效率。目前随机激光器主要通过掺铒和掺铒两种光纤激光器作为泵浦源, 从而获得 1.2 微米附近或者 1.6 微米附近的激光输出。掺铒随机光纤激光器具有转换效率高、系统结构简单等优点, 且目前的硅基光纤在 1600 纳米波段损耗很低, 为获得 1630-1700 纳米高功率掺铒随机光纤激光输出提供了有利条件。通过 1530-1590 纳米波段掺铒光纤激光的瑞利散射和拉曼放大效应, 获得波长为 1630-1700 纳米的高功率光纤激光输出。利用该激光对掺铥光纤激光器 / 放大器进行同带泵浦, 不仅系统结构简单, 而且量子亏损小、吸收系数高, 从而可以有效地提高泵浦效率和功率, 最终获得高功率的掺铥光纤激光输出。

发明内容

[0004] 本发明提出一种获得高功率掺铥光纤激光输出的新型泵浦方法。该方法利用掺铥光纤激光器产生 1530-1590 纳米高功率输出,通过瑞利散射和拉曼放大效应获得 1630-1700 纳米高功率随机光纤激光输出,然后对掺铥光纤激光器 / 放大器进行泵浦,由于该波段铥离子对泵浦光的吸收系数更高,而且量子亏损更小,因而可以显著提高泵浦效率,并最终获得高功率的掺铥光纤激光输出。

[0005] 本发明的技术方案是:

[0006] 一种获得高功率掺铥光纤激光输出的新型泵浦方法,利用半导体激光器或者光纤激光器泵浦,获得中心波长为 1530-1590 纳米的高功率掺铥光纤激光输出;然后将该激光注入高功率 1630-1700 纳米掺铥随机光纤激光器中,获得高功率的随机光纤激光输出;然后将多个高功率 1630-1700 纳米掺铥随机光纤激光器作为泵浦源,注入掺铥光纤激光器或者掺铥光纤放大器中,获得高功率、高效率、热管理方便的掺铥光纤激光输出。

[0007] 本发明中:所述高功率 1630-1700 纳米掺铥随机光纤激光器的结构包括依次连接的泵浦激光器、前级功率合束器、1530-1590 纳米高反光纤光栅、双包层掺铥光纤、1530-1590 纳米低反光纤光栅、1630-1700 纳米高反光纤光栅、和被动光纤。

[0008] 本发明中:所述掺铥光纤激光器包括依次连接的后级功率合束器、2 微米波段高反光纤光栅、双包层掺铥光纤和 2 微米波段低反光纤光栅。一种利用掺铥随机光纤激光器泵浦掺铥光纤激光器获得高功率掺铥光纤激光输出的新型泵浦装置,包括掺铥光纤激光器和多个高功率 1630-1700 纳米掺铥随机光纤激光器,多个高功率 1630-1700 纳米掺铥随机光纤激光器均与后级功率合束器连接,后级功率合束器后依次连接 2 微米波段高反光纤光栅、双包层掺铥光纤和 2 微米波段低反光纤光栅。

[0009] 本发明中:所述掺铥光纤放大器包括 2 微米波段光纤激光种子源、信号-泵浦合束器和双包层掺铥光纤。一种利用掺铥随机光纤激光器泵浦掺铥光纤放大器获得高功率掺铥光纤激光输出的新型泵浦装置,包括 2 微米波段光纤激光种子源和多个高功率 1630-1700 纳米掺铥随机光纤激光器,2 微米波段光纤激光种子源和多个高功率 1630-1700 纳米掺铥随机光纤激光器均与信号-泵浦合束器连接,信号-泵浦合束器后连接双包层掺铥光纤。

[0010] 其中:

[0011] 所述的泵浦激光器可以是 976 或者 915 纳米的半导体激光器,也可以是波长为 1500 纳米附近的掺铥或者铥 / 镱共掺光纤激光器。

[0012] 所述的前级功率合束器可以是 $n \times 1$ 的合束器 (n 为正整数),且其泵浦臂光纤应与泵浦激光器的光纤相匹配。

[0013] 所述的 1530-1590 纳米高反 / 低反光纤光栅中心波长 λ_1 可以在 1530 到 1590 纳米之间选择。

[0014] 所述的双包层掺铥光纤可以是纯掺铥光纤,也可以是铥 / 镱共掺光纤。

[0015] 所述的 1630-1700 纳米高反光纤光栅的中心波长 λ_2 应该对应于根据 1530-1590 纳米高反 / 低反光纤光栅中心波长计算的一级拉曼波长。计算公式:

$$[0016] \quad \lambda_2 = \lambda_1 + \frac{\lambda_1^2 \times \Delta \nu}{c}$$

[0017] 其中, $\Delta \nu = 13.2 \text{ THz}$ 为硅基光纤中的拉曼频移, c 为光速。

- [0018] 所述的被动光纤可以是单包层光纤,也可以是双包层光纤。
- [0019] 所述的后级功率合束器可以是 $n \times 1$ 的合束器(n 为正整数),且其泵浦臂光纤应与1630-1700 纳米随机激光器的被动光纤相匹配。
- [0020] 所述的2 微米波段高反/低反光纤光栅的中心波长可以在铥的发射谱(1700-2100 纳米)中选择。
- [0021] 所述的2 微米波段光纤激光种子源可以是单频种子源,也可以是宽谱的种子源,其中心波长可以在铥的发射谱(1700-2100 纳米)中选择。
- [0022] 所述的信号-泵浦合束器可以是 $(n+1) \times 1$ 的信号-泵浦合束器(n 为正整数),且其泵浦臂光纤应与1630-1700 纳米随机激光器的被动光纤相匹配,信号臂光纤与2 微米波段光纤激光种子源输出光纤相匹配。
- [0023] 本发明的技术效果是:
- [0024] 本发明利用1630-1700 纳米波段掺铒随机光纤激光器泵浦掺铥光纤激光器/放大器,在有效降低热管理压力的同时,获得高功率、高效率的掺铥光纤激光输出,是提高掺铥光纤激光输出功率新的有效途径,具有重要的应用价值。

附图说明

- [0025] 图1 为本发明中高功率1630-1700 纳米掺铒随机光纤激光器的结构示意图,
- [0026] 图2 为本发明中利用掺铒随机光纤激光器泵浦掺铥光纤激光器的系统结构示意图,
- [0027] 图3 为本发明中利用掺铒随机光纤激光器泵浦掺铥光纤放大器的系统结构示意图,
- [0028] 其中各标号表示:1-1:1# 泵浦激光器;1-2:2# 泵浦激光器;1-3:前级功率合束器;1-4:1530-1590 纳米高反光纤光栅;1-5:双包层掺铒光纤;1-6:1530-1590 纳米低反光纤光栅;1-7:1630-1700 纳米高反光纤光栅;1-8:被动光纤;1-a、1# 高功率1630-1700 纳米掺铒随机光纤激光器;1-b、2# 高功率1630-1700 纳米掺铒随机光纤激光器;1-c、3# 高功率1630-1700 纳米掺铒随机光纤激光器;1-d、4# 高功率1630-1700 纳米掺铒随机光纤激光器;1-e、5# 高功率1630-1700 纳米掺铒随机光纤激光器;1-f、6# 高功率1630-1700 纳米掺铒随机光纤激光器;1-g、7# 高功率1630-1700 纳米掺铒随机光纤激光器;2、后级功率合束器;3、2 微米波段高反光纤光栅;4、双包层掺铥光纤;5、2 微米波段低反光纤光栅;6、2 微米波段光纤激光种子源;7、信号-泵浦合束器。

具体实施方式

[0029] 本发明提供一种获得高功率掺铥光纤激光输出的新型泵浦方法,其利用半导体激光器或者光纤激光器泵浦,获得中心波长为1530-1590 纳米的高功率掺铒光纤激光输出;然后将该激光注入高功率1630-1700 纳米随机光纤激光器中,获得高功率的随机光纤激光输出;然后将多个高功率1630-1700 纳米掺铒随机光纤激光器作为泵浦源,注入掺铥光纤激光器或者掺铥光纤放大器中,获得高功率、高效率、热管理方便的掺铥光纤激光输出。

[0030] 参照图1,本发明中的所述高功率1630-1700 纳米掺铒随机光纤激光器的结构包括依次连接的泵浦激光器、前级功率合束器1-3、1530-1590 纳米高反光纤光栅1-4、双包层

掺铒光纤 1-5、1530-1590 纳米低反光纤光栅 1-6、1630-1700 纳米高反光纤光栅 1-7 和被动光纤 1-8,其中泵浦激光器为两个,分别为 1# 泵浦激光器 1-1 和 2# 泵浦激光器 1-2。

[0031] 参照图 2,为本发明中利用掺铒随机光纤激光器泵浦掺铒光纤激光器的系统结构示意图,包括七个高功率 1630-1700 纳米掺铒随机光纤激光器,分别为 1# 高功率 1630-1700 纳米掺铒随机光纤激光器 1-a、2# 高功率 1630-1700 纳米掺铒随机光纤激光器 1-b、3# 高功率 1630-1700 纳米掺铒随机光纤激光器 1-c、4# 高功率 1630-1700 纳米掺铒随机光纤激光器 1-d、5# 高功率 1630-1700 纳米掺铒随机光纤激光器 1-e、6# 高功率 1630-1700 纳米掺铒随机光纤激光器 1-f 和 7# 高功率 1630-1700 纳米掺铒随机光纤激光器 1-g,上述七个高功率 1630-1700 纳米掺铒随机光纤激光器均与后级功率合束器 2 连接,后级功率合束器 2 后依次连接 2 微米波段高反光纤光栅 3、双包层掺铒光纤 4 和 2 微米波段低反光纤光栅 5。依次连接的后级功率合束器 2、2 微米波段高反光纤光栅 3、双包层掺铒光纤 4 和 2 微米波段低反光纤光栅 5 构成掺铒光纤激光器。

[0032] 参照图 3,为本发明中利用掺铒随机光纤激光器泵浦掺铒光纤放大器的系统结构示意图;掺铒光纤放大器包括 2 微米波段光纤激光种子源 6、信号-泵浦合束器 7 和双包层掺铒光纤 4,2 微米波段光纤激光种子源 6 和六个高功率 1630-1700 纳米掺铒随机光纤激光器均与信号-泵浦合束器 7 连接,信号-泵浦合束器 7 后连接双包层掺铒光纤 4。其中:六个高功率 1630-1700 纳米掺铒随机光纤激光器分别为 1# 高功率 1630-1700 纳米掺铒随机光纤激光器 1-a、2# 高功率 1630-1700 纳米掺铒随机光纤激光器 1-b、3# 高功率 1630-1700 纳米掺铒随机光纤激光器 1-c、4# 高功率 1630-1700 纳米掺铒随机光纤激光器 1-d、5# 高功率 1630-1700 纳米掺铒随机光纤激光器 1-e 和 6# 高功率 1630-1700 纳米掺铒随机光纤激光器 1-f。

[0033] 以上所述的所有器件均已全光纤化,各个器件通过光纤熔接组成一个整体。

[0034] 本发明具体实施方式如下:

[0035] 通过泵浦激光器泵浦 1530-1590 纳米掺铒激光器,获得高功率 1530-1590 纳米激光输出,利用此激光泵浦随机光纤激光器,获得高功率 1630-1700 纳米随机光纤激光输出,最后利用该随机光纤激光泵浦掺铒光纤激光器/放大器。本发明为获得高功率、高效率、热管理方便的掺铒光纤激光输出提供了一个新的有效途径。

[0036] 实施方式举例:

[0037] 首先利用 976 纳米半导体激光器泵浦中心波长为 1570 纳米的掺铒光纤激光器,其中:976 纳米半导体激光器输出功率可达 100 瓦,使用 2×1 功率合束器将泵浦光注入 1570 纳米激光器中;1570 纳米高反光栅反射率 99%、带宽 2 纳米,低反光栅反射率 10%、带宽 1 纳米;掺铒光纤使用纤芯直径 6 微米、内包层直径 125 微米(6/125 微米)的双包层光纤,在 976 纳米的包层吸收系数是 7dB/m,长度 4 米;输出功率可以达到 80 瓦。然后利用 1570 纳米的掺铒光纤激光泵浦 1680 纳米的随机光纤激光器,其中:1680 纳米高反光栅反射率 99%、带宽 2 纳米;被动光纤是 9/125 微米的 SMF-28 通信光纤,长度 1000 米;单个激光器输出功率可以达到 60 瓦以上;通过 3×1 的功率合束器,可以将 3 个 1680 纳米随机光纤激光器合成一束输出,输出光纤为 105/125 微米的双包层光纤,这样单路光纤输出功率可以达到 180 瓦左右。最后利用 7×1 的功率合束器将 7 个上述合束后的随机激光器注入波长为 1950 纳米的掺铒光纤激光器中,其中:合束器输入为 105/125 微米双包层光纤,输出为 25/250 微米的

双包层被动光纤 ;1950 纳米高反光栅反射率 99%、带宽 2 纳米 ;1950 纳米低反光栅反射率 20%、带宽 1 纳米 ;掺杂光纤为 25/250 微米双包层掺铥光纤,在 1680 纳米的包层吸收系数为 4dB/m,长度 7 米。这样可以将总功率约 1250 瓦的 1680 纳米泵浦光注入掺铥光纤激光器中,即使按照 70%的转换效率(公开报道中,在 1530-1590 波段的泵浦效率可达 70-80%,而理论上 1630-1700 波段的泵浦效率可以更高),也可以获得约 850 瓦的 1950 纳米光纤激光输出。以同样的泵源搭建放大器结构进行二级级联放大,则可以获得约 1700 瓦的 1950 纳米光纤激光输出。

[0038] 利用高功率掺铟随机光纤激光器泵浦掺铥光纤激光器 / 放大器与利用 793 纳米的半导体激光器进行泵浦的方案对比 :由于目前单个 793 纳米半导体激光器的输出功率最高为 50 瓦左右(尾纤为 105/125 微米),通过上述的 7×1 的功率合束器可获得总共约 350 瓦的泵浦功率,即使按照 60%的转换效率(目前公开报道的该泵浦方案的效率在 50-64%左右),也只能得到约 200 瓦的 1950 功率输出,即使进行二级级联放大,也只能获得约 400 瓦的输出,比 1680 纳米泵浦方案获得的功率输出低一个量级。通过对比可以看出本发明在获得高功率掺铥光纤激光输出上的明显优势。此外,由于量子亏损和泵浦效率上的优势,利用高功率掺铟随机光纤激光器进行泵浦产生的废热更少,因而热管理也更加方便。

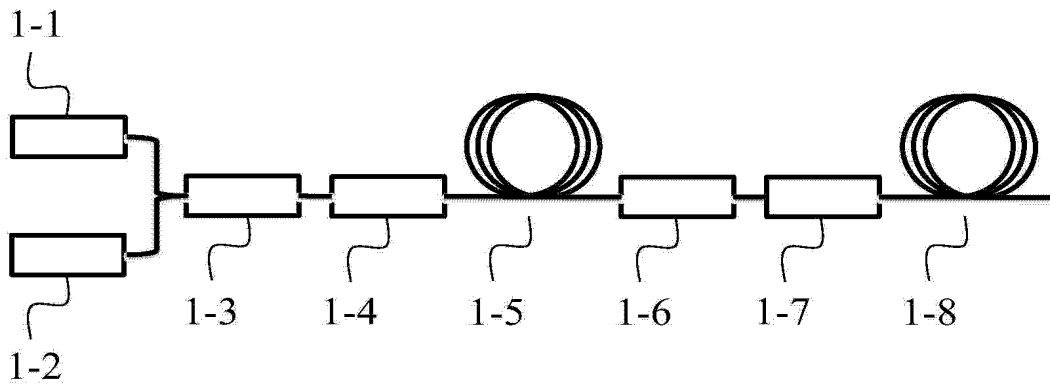


图 1

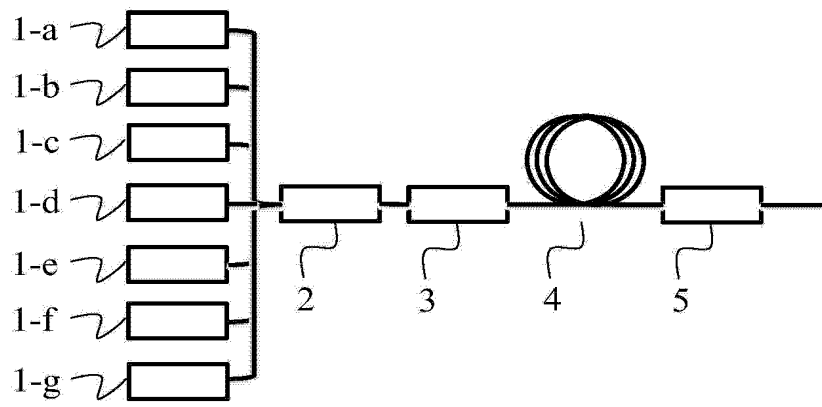


图 2

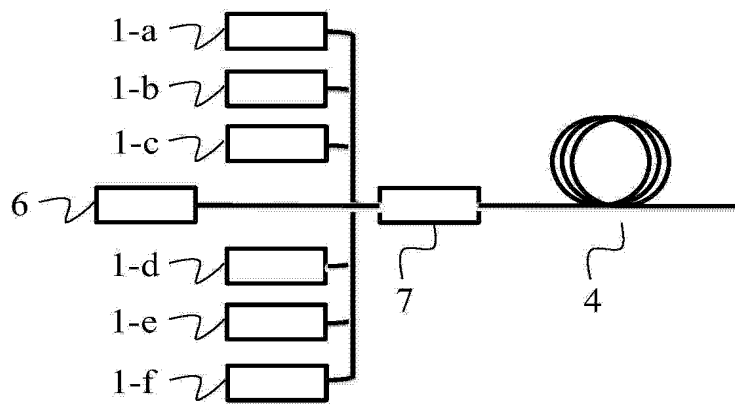


图 3