



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111129923 B

(45) 授权公告日 2022. 02. 25

(21) 申请号 201911324604.0

CN 1837867 A, 2006.09.27

(22) 申请日 2019.12.20

CN 101588013 A, 2009.11.25

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 111129923 A

CN 101414026 A, 2009.04.22

(43) 申请公布日 2020.05.08

J. Canning, et al. "All-fibre photonic crystal distributed Bragg reflector (PC-DBR) fibre laser". 《OPTICS EXPRESS》. 2003, 第11卷(第17期), 第1995-2000页.

(73) 专利权人 江苏师范大学
地址 221116 江苏省徐州市铜山新区上海路101号

J. Canning, et al. "All-fibre photonic crystal distributed Bragg reflector (PC-DBR) fibre laser". 《OPTICS EXPRESS》. 2003, 第11卷(第17期), 第1995-2000页.

(72) 发明人 施进丹 冯宪

Jindan Shi, et al. "High Power, Low Threshold, Raman DFB Fibre Lasers". 《IQEC/CLEO Pacific Rim 2011(会议)》. 2012, 第1176-1178页.

(74) 专利代理机构 南京经纬专利商标代理有限公司 32200

代理人 罗运红

(51) Int. Cl.

H01S 3/067 (2006.01)

H01S 3/08 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 103597675 A, 2014.02.19

CN 108183385 A, 2018.06.19

CN 103269012 A, 2013.08.28

CN 104297838 A, 2015.01.21

Nathaniel Groothoff, et al. "DFB photonic crystal fibre (DFB-PCF) laser in Er³⁺ doped air-silica structured optical fibre". 《Proceedings of SPIE》. 2005, 第5855卷第118-121页.

审查员 程灿

权利要求书1页 说明书5页 附图4页

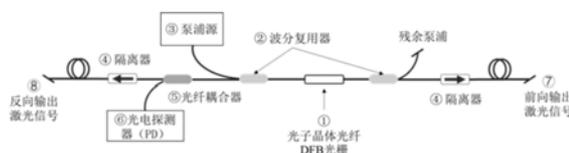
(54) 发明名称

一种单频、单偏振的光纤分布式反馈激光器

(57) 摘要

本发明公开了一种单频、单偏振的光纤分布式反馈激光器,光子晶体光纤DFB光栅的两侧均通过光纤熔接一个波分复用器;一侧的波分复用器的另一边通过光纤熔接泵浦源和光纤耦合器,光纤耦合器的另一边通过光纤熔接光纤隔离器和光电探测器,光纤隔离器的另一边连接反向输出激光信号端口;另一侧的波分复用器的另一边通过光纤熔接残余泵浦和光纤隔离器,光纤隔离器的另一边连接前向输出激光信号端口。本发明由单一带有 π 相移的分布式反馈光纤光栅构成,从而本光纤分布式反馈激光器的体积小,且其输出激光为单横模、单偏振的窄线宽光源,不仅单色性好、相干长度长,而且输出的功率稳定,受环

境的温度变化、振动、弯曲等因素的影响小,具有较高的实用性。



CN 111129923 B

1. 一种单频、单偏振的光纤分布式反馈激光器,其特征在于,所述光纤分布式反馈激光器包括有光子晶体光纤DFB光栅(1)、波分复用器(2)、泵浦源(3)、光纤隔离器(4)、光纤耦合器(5)和光电探测器(6),所述光子晶体光纤DFB光栅(1)的两侧均通过光纤熔接一个波分复用器(2);

所述泵浦源(3)和光纤耦合器(5)通过光纤熔接位于光子晶体光纤DFB光栅(1)一侧的波分复用器(2)的另一边,所述光纤隔离器(4)和光电探测器(6)通过光纤熔接光纤耦合器(5)的另一边,所述光纤隔离器(4)的另一边连接反向输出激光信号端口(8);

所述光纤隔离器(4)和残余泵浦通过光纤熔接位于光子晶体光纤DFB光栅(1)另一侧的波分复用器(2)的另一边,所述光纤隔离器(4)的另一边连接前向输出激光信号端口(7);

所述光子晶体光纤DFB光栅(1)包括有单偏振光子晶体光纤和 π 相移分布式反馈光纤光栅;所述 π 相移分布式反馈光纤光栅设置在单偏振光子晶体光纤的内部;所述光子晶体光纤DFB光栅(1)的长度范围为5毫米~500毫米;

所述单偏振光子晶体光纤包括有纤芯(9)和包层(10),所述光子晶体光纤DFB光栅(1)设置在纤芯(9)的中心位置处,所述包层(10)设置在纤芯(9)的外部,且所述纤芯(9)和包层(10)之间贴合设置;所述包层(10)的内部设置有空气孔(11),所述空气孔(11)在光子晶体光纤DFB光栅(1)横截面的两个正交方向上的孔径不相同;相邻两个所述空气孔(11)的孔芯之间的距离即空气孔间距(12),所述空气孔间距(12)的范围是 $\Lambda = 3\text{微米} \sim 10\text{微米}$,且 $d_1/\Lambda = 0.2\text{微米} \sim 0.95\text{微米}$, $d_2/\Lambda = 0.05\text{微米} \sim 0.8\text{微米}$;其中, d_1 和 d_2 分别为空气孔在光子晶体光纤DFB光栅横截面的两个正交方向上的孔径, Λ 为周期大小,即相邻空气孔芯之间距离也就是空气孔间距(12)的大小。

2. 根据权利要求1所述的一种单频、单偏振的光纤分布式反馈激光器,其特征在于,所述 π 相移分布式反馈光纤光栅的中心波长、周期和纤芯有效折射率之间满足如下关系式:

$$\lambda_{\text{DFB}} = 2 * n_{\text{eff}} * \Lambda_{\text{DFB}} / m$$

其中: λ_{DFB} 为 π 相移分布式反馈光纤光栅的中心波长, n_{eff} 为纤芯有效折射率, Λ_{DFB} 为 π 相移分布式反馈光纤光栅的周期, m 为光栅的阶数。

3. 根据权利要求2所述的一种单频、单偏振的光纤分布式反馈激光器,其特征在于, π 相移分布式反馈光纤光栅的中心波长的大小在单偏振光子晶体光纤的增益带宽范围内。

4. 根据权利要求1所述的一种单频、单偏振的光纤分布式反馈激光器,其特征在于,所述波分复用器(2)、光纤隔离器(4)和光纤耦合器(5)均采用保偏光纤器件。

5. 根据权利要求4所述的一种单频、单偏振的光纤分布式反馈激光器,其特征在于,所述泵浦源(3)为单模光纤耦合输出的激光源,所述泵浦源(3)的中心波长根据光子晶体光纤稀土掺杂增益和光子晶体光纤DFB光栅(1)的中心波长进行选择。

6. 根据权利要求5所述的一种单频、单偏振的光纤分布式反馈激光器,其特征在于,所述光纤耦合器(5)的输出比不大于1/99,同时所述光纤耦合器(5)的小信号输出端连接光电探头,所述光电探头用于检测单频、单偏振的光纤分布式反馈激光器的激光输出功率。

一种单频、单偏振的光纤分布式反馈激光器

技术领域

[0001] 本发明涉及光纤激光器技术领域,尤其涉及一种单频、单偏振的光纤分布式反馈激光器。

背景技术

[0002] 光纤分布式反馈(DFB)激光谐振腔由均匀分布于增益介质内的单一的带 π 相移DFB布拉格光纤光栅(FBG)构成, π 相移的作用是在DFB光栅阻带内形成唯一窄线宽透射窗口,抑制高阶谐振纵模,从而选择性地在该透射窗口频率处实现单频窄线宽激光输出。光纤DFB激光器具有输出光束质量高、单模、单频线宽窄、频率稳定、低噪、体积小等特点,在光纤通信、传感、遥感和医疗等领域具有广泛应用前景。自1994年英国南安普顿大学光电子研究中心(ORC)首次报道稀土掺杂DFB光纤激光器以来,DFB光纤激光器得到了高度的重视和迅速发展。迄今为止,已经在稀土掺杂和无源光纤中实现了 $1\mu\text{m}$ 、 $1.11\mu\text{m}$ 、 $1.55\mu\text{m}$ 、 $2.0\mu\text{m}$ 和 $2.8\mu\text{m}$ 波段的光纤DFB激光输出。其中,稀土掺杂光纤DFB激光器受到掺杂稀土离子能级的限制,激光输出波长只能覆盖由稀土离子发射决定的几个离散波段,通常稀土掺杂光纤增益较高,DFB光栅长度一般在几个厘米左右。基于光纤受激拉曼散射(SRS)和受激布里渊散射(SBS)效应的无源光纤DFB激光器的输出波长由泵浦光纤决定,理论上可以实现任意波长激光输出,但由于光纤的SRS和SBS增益较低,通常需要较长的DFB光栅,一般在十几-几十厘米范围,这对DFB光栅制备技术提出了更高的要求。

[0003] 然而,上述DFB光纤激光器都是基于传统芯-包层结构光纤,输出激光的偏振性能主要由DFB光栅的双折射效应、D-形状非对称光纤或偏振相关增益特性等决定。由于所用光纤不是单偏光纤,输出激光的偏振度容易受到工作环境等因素的干扰,从而在一定程度上降低了输出激光的频率、功率和模式等的稳定性。因此,采用单模单偏光纤,并结合DFB谐振腔的高精度选频特性,基于单偏光纤的DFB激光器是实现结构紧凑且高稳定的单频、单偏激光输出的有效途径之一。

[0004] 光子晶体光纤通过包层的微结构设计,可以灵活地调控光纤的波导特性:如通过超小芯径设计实现低激光阈值;如通过微结构在光纤横截面正交方向的差异设计,实现宽频单偏振输出等。然而,基于单偏光子晶体光纤结构的DFB光纤激光器的研究工作尚未见于文献。因此,基于光子晶体光纤的DFB激光器,实现单频窄线宽、单偏振、低噪、高稳定性、低噪等高性能激光输出,在光纤陀螺、光纤传感、医疗、长远距离通信、雷达等领域具有重要应用。

发明内容

[0005] 发明目的:针对现有单频窄线宽光纤分布式反馈激光器的输出激光的偏振态的纯度不高,从而导致输出功率不稳定的问题,本发明提出一种单频、单偏振的光纤分布式反馈激光器。

[0006] 技术方案:为实现本发明的目的,本发明所采用的技术方案是:

[0007] 一种单频、单偏振的光纤分布式反馈激光器,所述光纤分布式反馈激光器包括有光子晶体光纤DFB光栅、波分复用器、泵浦源、光纤隔离器、光纤耦合器和光电探测器,所述光子晶体光纤DFB光栅的两侧均通过光纤熔接一个波分复用器;

[0008] 所述泵浦源和光纤耦合器通过光纤熔接位于光子晶体光纤DFB光栅一侧的波分复用器的另一边,所述光纤隔离器和光电探测器通过光纤熔接光纤耦合器的另一边,所述光纤隔离器的另一边连接反向输出激光信号端口;

[0009] 所述光纤隔离器和残余泵浦通过光纤熔接位于光子晶体光纤DFB光栅另一侧的波分复用器的另一边,所述光纤隔离器的另一边连接前向输出激光信号端口。

[0010] 进一步地讲,所述光子晶体光纤DFB光栅包括有单偏振光子晶体光纤和 π 相移分布式反馈光纤光栅,所述 π 相移分布式反馈光纤光栅设置在单偏振光子晶体光纤的内部。

[0011] 进一步地讲,所述 π 相移分布式反馈光纤光栅的中心波长、周期和纤芯有效折射率之间满足如下关系式:

$$[0012] \quad \lambda_{\text{DFB}} = 2 * n_{\text{eff}} * \Lambda_{\text{DFB}} / m$$

[0013] 其中: λ_{DFB} 为 π 相移分布式反馈光纤光栅的中心波长, n_{eff} 为纤芯有效折射率, Λ_{DFB} 为 π 相移分布式反馈光纤光栅的周期, m 为光栅的阶数。

[0014] 进一步地讲, π 相移分布式反馈光纤光栅的中心波长的大小在单偏振光子晶体光纤的增益带宽范围内。

[0015] 进一步地讲,所述单偏振光子晶体光纤包括有纤芯和包层,所述光子晶体光纤DFB光栅设置在纤芯的中心位置处,所述包层设置在纤芯的外部,且所述纤芯和包层之间贴合设置。

[0016] 进一步地讲,所述包层的内部设置有空气孔,所述空气孔在光子晶体光纤DFB光栅横截面的两个正交方向上的孔径不相同。

[0017] 进一步地讲,所述波分复用器、光纤隔离器和光纤耦合器均采用保偏光纤器件。

[0018] 进一步地讲,所述泵浦源为单模光纤耦合输出的激光源,所述泵浦源的中心波长根据光子晶体光纤稀土掺杂增益和光子晶体光纤DFB光栅的中心波长进行选择。

[0019] 进一步地讲,所述光纤耦合器的输出比不大于1/99,同时所述光纤耦合器的小信号输出端连接光电探头,所述光电探头用于检测单频、单偏振的光纤分布式反馈激光器的激光输出功率。

[0020] 有益效果:与现有技术相比,本发明的技术方案具有以下有益技术效果:

[0021] 本发明的光纤分布式反馈激光器由单一带有 π 相移的分布式反馈光栅构成,从而本发明的光纤分布式反馈激光器的体积小,且其输出激光为单横模、单偏振的窄线宽光源,不仅单色性好、相干长度长,而且输出的功率稳定,受环境的温度变化、振动、弯曲等因素的影响小,具有较高的实用性。

附图说明

[0022] 图1是本发明单频、单偏振的光纤分布式反馈激光器的结构示意图;

[0023] 图2是本发明光子晶体光纤DFB光栅的结构示意图;

[0024] 图3是本发明中心波长为1550纳米的光子晶体光纤DFB光栅透射光谱图;

[0025] 图4是本发明单偏振光子晶体光纤的结构示意图;

- [0026] 图5是本发明基模模场两个相互垂直的模场分布图；
- [0027] 图6是本发明输出信号总功率与输入泵浦光功率之间的关系图；
- [0028] 图7是本发明高精度光谱仪测得的输出激光信号光谱图；
- [0029] 图8是本发明法布里-珀罗干涉仪测试结果图；
- [0030] 图中标号对应部件名称：
- [0031] 1、光子晶体光纤DFB光栅；2、波分复用器；3、泵浦源；4、光纤隔离器；5、光纤耦合器；6、光电探测器；7、前向输出激光信号端口；8、反向输出激光信号端口；9、纤芯；10、包层；11、空气孔；12、空气孔间距；13、空气孔直径I；14、空气孔直径II。

具体实施方式

[0032] 为使本发明实施例的目的、技术方案和优点更加清楚，下面将结合本发明实施例中的附图，对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述。其中，所描述的实施例是本发明一部分实施例，而不是全部的实施例。因此，以下对在附图中提供的本发明的实施例的详细描述并非旨在限制要求保护的本发明的范围，而是仅仅表示本发明的选定实施例。

[0033] 实施例1

[0034] 参考图1，本实施例提供了一种单频、单偏振的光纤分布式反馈激光器，该单频、单偏振的光纤分布式反馈激光器包括有光子晶体光纤DFB光栅1、波分复用器2、泵浦源3、光纤隔离器4、光纤耦合器5和光电探测器6，其中各部件通过光纤熔接连接成如图1所示的单频、单偏振的光纤分布式反馈激光器。

[0035] 在本实施例中，光子晶体光纤DFB光栅1的两侧均通过光纤熔接有一个波分复用器2。具体地讲，位于光子晶体光纤DFB光栅1一侧的波分复用器2的另一边通过光纤熔接泵浦源3和光纤耦合器5，光纤耦合器5的另一边通过光纤熔接光纤隔离器4和光电探测器6，光纤隔离器4的另一边连接FC/APC斜角端口，且该FC/APC斜角端口为反向输出激光信号端口8。

[0036] 位于光子晶体光纤DFB光栅1另一侧的波分复用器2的另一边通过光纤熔接残余泵浦和光纤隔离器4，光纤隔离器4的另一边连接FC/APC斜角端口，且该FC/APC斜角端口为前向输出激光信号端口7。

[0037] 参考图2，光子晶体光纤DFB光栅1包括有单偏振光子晶体光纤和 π 相移分布式反馈光纤光栅，且 π 相移分布式反馈光纤光栅设置在单偏振光子晶体光纤的内部。在本实施例中，光子晶体光纤DFB光栅1的长度在5毫米到500毫米之间。

[0038] 其中 π 相移分布式反馈光纤光栅的中心波长、周期和纤芯有效折射率之间满足如下关系式：

$$[0039] \quad \lambda_{\text{DFB}} = 2 * n_{\text{eff}} * \Lambda_{\text{DFB}} / m$$

[0040] 其中： λ_{DFB} 为 π 相移分布式反馈光纤光栅的中心波长， n_{eff} 为纤芯有效折射率， Λ_{DFB} 为 π 相移分布式反馈光纤光栅的周期， m 为光栅的阶数。

[0041] 同时 π 相移分布式反馈光纤光栅的中心波长 λ_{DFB} 的大小在所用的单偏振光子晶体光纤的增益带宽范围内。

[0042] 具体地讲，采用800nm飞秒激光器在单偏振光子晶体光纤的纤芯9中制备出相移DFB光纤光栅，光栅总长度为20毫米，中心波长在1550纳米，其光栅透射光谱图如图3所示。

[0043] 参考图4，单偏振光子晶体光纤包括有纤芯9和包层10，其中纤芯9由掺铒、镱、铟、

铟/镱共掺、铥、钬的石英基玻璃组成,包层10由纯石英玻璃和空气孔11构成。具体地讲,单偏振光子晶体光纤的心导光部分为纤芯9,即光子晶体光纤DFB光栅1设置在纤芯9的中心位置处,而在纤芯9的外部设置有包层10,同时纤芯9和包层10之间贴合设置,且纤芯9的半径小于包层10的半径。在本实施例中,纤芯9的半径与近红外波段通信用单模石英玻璃光纤相匹配,在1.5微米至5.5微米范围内。

[0044] 由于纤芯9中掺杂有较高浓度稀土离子,从而纤芯9处的折射率会略高于未掺杂的石英玻璃,进而导致全内反射导光机制作用远远强于泄露模式导光机制,同时也会导致光子晶体光纤有效折射率导光机制失效。因此,为了保证基于有效折射率的光子晶体光纤导光机制的有效性,通过纤芯9的材料成分设计补偿折射率,即在稀土掺杂纤芯9部分的石英玻璃中掺入硼和氟化学成分,以降低掺杂纤芯9的有效折射率,从而使得掺杂纤芯9玻璃和未掺杂玻璃具有相同的折射率。

[0045] 纤芯9的折射率具体选择为1.444,在1.55微米的有效模场直径为5微米,可与商用保偏石英光纤模场匹配,从而减小熔接损耗。

[0046] 在包层10的内部设置有空气孔11,该空气孔可以组成预先规定形状的N圈空气孔环,且空气孔环的圈数不小于3。在本实施例中,空气孔环的预先规定形状设置为等边六边形,且空气孔环的圈数选择为四。

[0047] 具体地讲,在光子晶体光纤横截面的两个正交方向上,空气孔11的孔径不相同,即图4中空气孔直径I13和空气孔直径II14的大小不相等,且空气孔直径I13和空气孔直径II14之间满足如下关系:

$$[0048] \quad d_1 > d_2$$

[0049] 其中: d_1 为空气孔直径I的直径, d_2 为空气孔直径II的直径。

[0050] 根据空气孔环中空气孔11之间的位置,确定出空气孔间距12的大小,即周期。通过调整空气孔径和周期之间的比值,即 d_1/Λ 和 d_2/Λ 的大小,使得基模和最低阶高阶模的泄露损耗差异超过2个数量级以上,且基模的两个线偏振态的损耗差异在10倍以上,即可保证单模单偏振传输。其中 Λ 为周期大小,即相邻空气孔芯之间距离也就是空气孔间距12的大小。

[0051] 参考图5,图5为基模模场两个相互垂直的模场分布图。其中图(a)为水平方向线偏振模场分布,图(b)为垂直方向线偏振模场分布。

[0052] 基模的泄露损耗约为1dB/km,最低高阶模的泄露损耗为 17×10^6 dB/km,进而可以确保单模输出。对于基模的水平偏振约为47dB/km,垂直偏振模式的泄露损耗约为0.7dB/km,相差两个数量级左右,进而可以保证单偏振输出。

[0053] 在本实施例中,空气孔间距12在1微米至10微米的范围内,具体选择为3微米, d_1/Λ 的大小在0.2至0.95的范围内, d_2/Λ 的大小在0.05至0.8的范围内,且 d_1/Λ 的数值大于 d_2/Λ 的数值。其中 d_1/Λ 的大小具体选择为0.6, d_2/Λ 的大小具体选择为0.3。

[0054] 波分复用器2、光纤隔离器4和光纤耦合器5均采用保偏光纤器件,这是为了减小DFB激光信号在传输过程中造成的失偏振影响。同时泵浦源3为单模光纤耦合输出的激光源,即可以是半导体激光器、光纤激光器、固体激光器或其他激光器,且泵浦源3的中心波长根据光子晶体光纤稀土掺杂增益和光子晶体光纤DFB光栅1的中心波长进行选择。

[0055] 光纤耦合器5采用输出比不大于1/99的保偏光纤过滤器耦合器,其中光纤耦合器5

的小信号输出端连接光电探头,用于实时检测激光信号功率的产生与放大过程。而光电探头则是用于检测单频、单偏振的光纤分布式反馈激光器的激光输出功率。

[0056] 前向输出激光信号端口7输出前向输出信号,反向输出激光信号端口输出反向输出信号,其中输出信号分别采用光谱仪、功率计、偏振分析仪等光学分析测试设备,对信号光进行表征。

[0057] 具体地讲,采用976纳米半导体单模激光器为泵浦源3,激光器起振功率为17.3毫瓦,输出信号总功率与输入泵浦光功率之间关系图如图6所示,其斜率转换系数为7.3%。在输出功率为1毫瓦时,用高精度光谱仪测得的激光信号图如图7所示。根据图8中法布里-珀罗干涉仪测试结果图,可以看出其输出激光信号通过自由光谱范围为1.72GHz的法布里-珀罗干涉仪测量,得到单频输出,其中输出信号两个偏振态的功率比值为20dB,并为线偏振输出。

[0058] 以上示意性的对本发明及其实施方式进行了描述,该描述没有限制性,附图所示的也只是本发明的实施方式之一,实际的结构和方法并不局限于此。所以,如果本领域的普通技术人员受其启示,在不脱离本发明创造宗旨的情况下,不经创造性的设计出与该技术方案相似的结构方式及实施例,均属于本发明的保护范围。

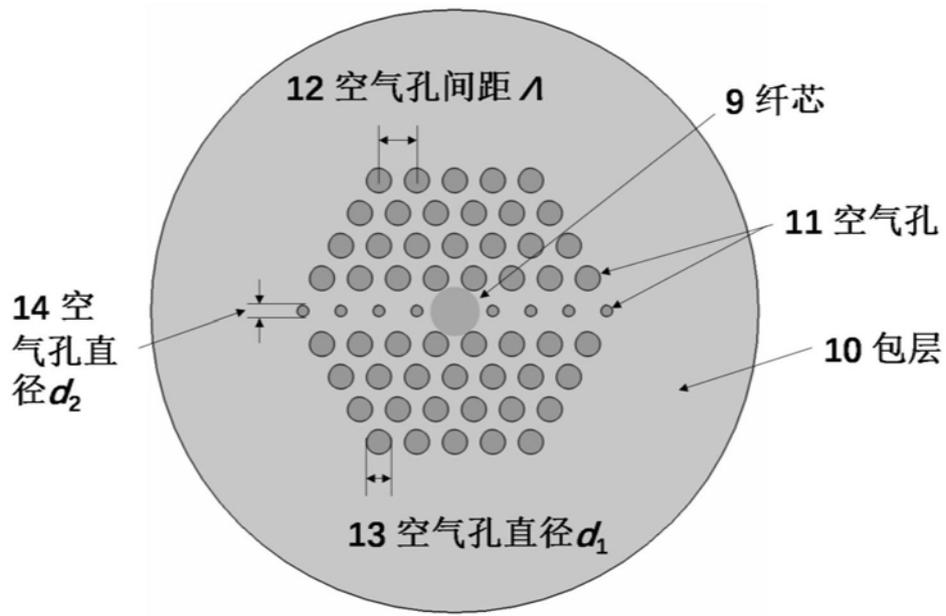


图4

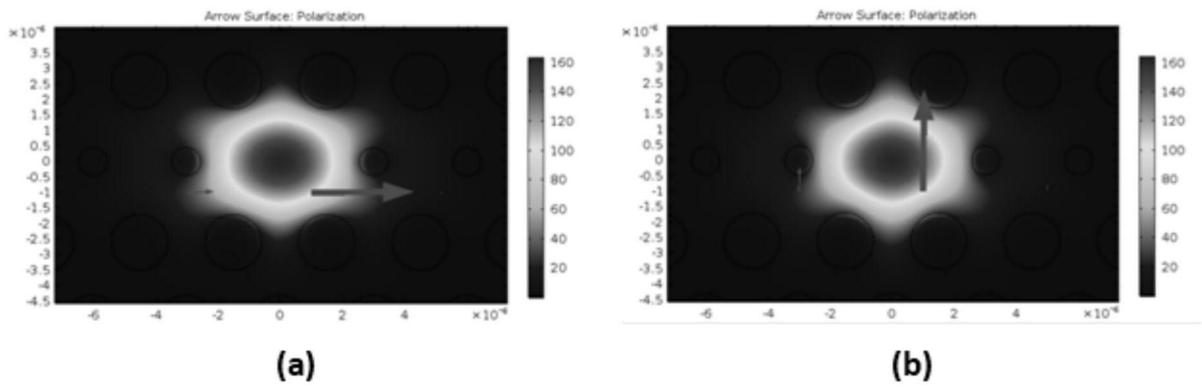


图5

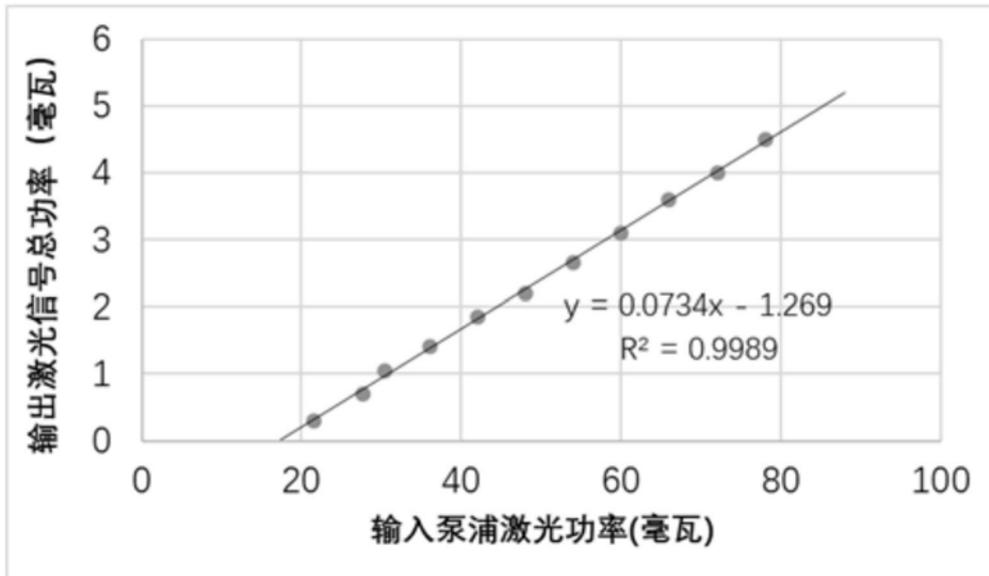


图6

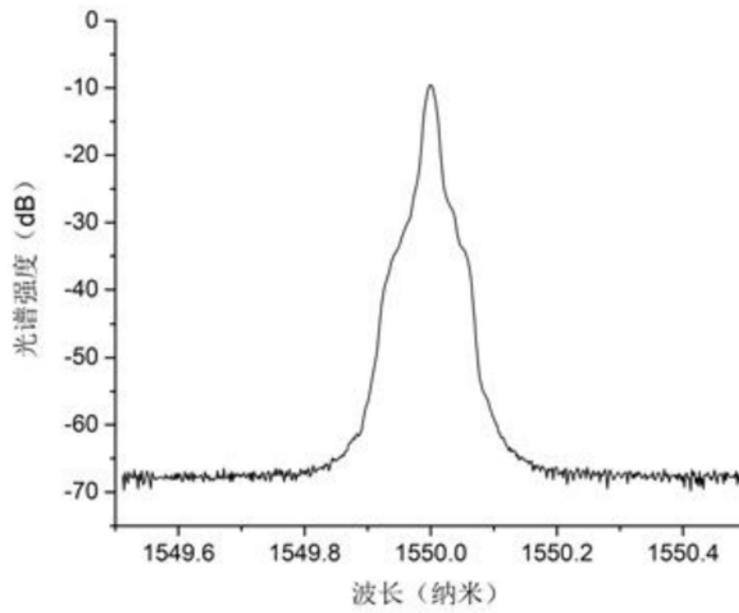


图7

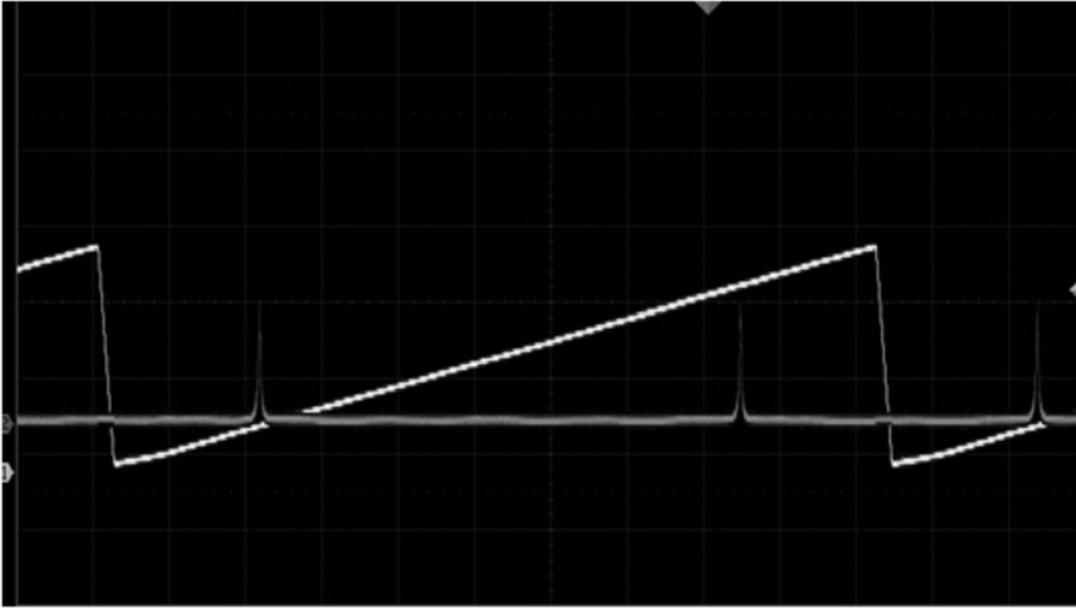


图8