文章编号:1001-5078(2018)12-1496-04

· 激光器技术 ·

# 基于啁啾光纤光栅的五波长掺铒光纤激光器

### 成建群,何俊聪

(佛山科学技术学院物理与光电工程学院,广东佛山 528000)

摘 要:提出并实验验证了一种新型的基于啁啾光纤光栅的全光纤的可切换的五波长掺铒光 纤激光器,该激光器采用简洁的线性腔结构,使用一段高掺铒的光纤作为增益介质,利用一个 内含宽带啁啾光纤光栅的萨格纳克环作为激光器的谐振腔腔镜,担当了一个梳状滤波器的作 用,另一个腔镜由一个宽带光纤反射镜担当,适当调整环中的偏振控制器,可以获得最多五波 长的激光输出,并具有4种不同的激光输出模式,所有激发线均具有大于 32 dB 的光学信噪 比,小于 0.6 nm 的线宽以及小于 8 dB 的峰值功率差异。

关键词:多波长光纤激光器;啁啾光纤光栅;光纤反射镜

中图分类号:TN248 文献标识码:A DOI:10.3969/j.issn.1001-5078.2018.12.008

## Quintuple-wavelength erbium-doped fiber laser based on chirped fiber grating

CHENG Jian-qun, HE Jun-cong

(School of Physics and Optoelectronic Engineering, Foshan University, Foshan 528000, China)

**Abstract**: A novel all-fiber and switchable quintuple-wavelength erbium-doped fiber laser based on a chirped fiber grating was proposed and demonstrated experimentally. The laser used simple linear cavity structure. A length of high-ly-doped erbium fiber was used as gain medium. A Sagnac loop with a wide-band chirped fiber grating was used as the cavity mirror of resonant cavity, which acted as a comb filter. Another cavity mirror acted as wide-band fiber reflective mirror. Through properly adjusting polarization controller in the loop, maximum quintuple-wavelength laser output and four kinds of different laser output modes can be obtained. All excitation lines have optical SNR greater than 32 dB, line width less than 0. 6 nm and peak power difference less than 8 dB.

Key words: multi-wavelength fiber laser; chirped fiber grating; fiber reflective mirror

1 引 言

近年来,多波长光纤激光器因具有多通道同时 输出,价格低廉、光束质量好、波长间隔可调、功率稳 定性好、输出谱线宽度窄,易与光纤兼容等优势,被 广泛应用于高密度波分复用(DWDM)光通信系统, 光纤传感系统,光谱学与光学仪器测试等领域中,引 起了人们极大的研究兴趣。

室温下,由于掺铒光纤中铒离子的均匀展宽效 应所导致的强烈的模式竞争,使得掺铒光纤激光器 的多波长输出变得十分困难,于是,为了获得稳定的 多波长激光输出,人们寻找了各种方案来解决这个 难题,例如,应用偏振分束和保偏光纤的非线性偏振

基金项目:佛山科学技术学院物理与光电工程学院创新人才培养教改/科研基金项目资助。

作者简介:成建群(1976-),男,博士,讲师,主要从事多波长光纤激光器的研究。E-mail:773644645@qq.com 收稿日期:2018-05-08;修订日期:2018-06-28

旋转效应(nonlinear polarization rotation, NPR) 来实 现多波长振荡,并应用非均匀展宽增益介质 SOA 来 弱化模式竞争,实现了双波长振荡<sup>[1]</sup>;或者使用一 对峰值反射率均高于99%的掺铒光纤重叠光栅作 为波长选择器件,通过精细调节光纤光栅两端的机 械应力,可以调整出射端腔镜在双波长处的反射率 (或透射率),即调整激光器的损耗,使得谐振腔内 双波长处各自的损耗和增益相匹配,抑制了模式竞 争,室温下得到了稳定的双波长激光输出<sup>[2]</sup>;或者 采用一种基于 Sagnac 环和 M-Z 滤波器级联滤波的 可调掺铒光纤激光器方案,该激光器通过非线性光 纤环形镜(NOLM)实现稳频,实现了稳定的多波长 输出<sup>[3]</sup>;或者利用单模光纤和环形结构组成半开放 腔结构,实现了一种具有可调谐特性的半开放腔多波 长随机光纤激光器[4];或者由两个级联球状结构的马 赫-增德尔干涉仪(MZI)和一个双折射光纤滤波器 (Lyot 滤波器)组成,实现了一种基于复合光纤滤波器 的室温下稳定输出的多波长掺铒光纤激光器<sup>[5]</sup>;或者 采用"8"字形激光腔和微纳光纤环两个部分构成方 案,提出了一种基于微纳光纤环的多波长锁模光纤激 光器[6];或者采用将掺铒光纤放大器放置于1个10 m 左右的无源光纤振荡腔外的方法,实现了一种单模 多波长布里渊光纤激光器[7];或者利用光纤扩径腰椎 熔接技术,分别对长为4.5 cm 单模光纤的两端进行 扩径,形成了球形-单模-球形结构的新型马赫-曾 德尔干涉仪(MZI),基于这种结构构造了一种可调谐 多波长自激布里渊掺铒光纤激光器<sup>[8]</sup>。

本论文提出了一种新型的多波长掺铒光纤激光 器设计方案,采用一个含有宽带啁啾光纤光栅的萨 格纳克环作为梳状滤波器,另一个腔镜使用了一个 光纤高反镜,在二者的协同作用下,可以在室温下获 得可切换的多波长激光输出。

#### 2 实 验

设计的可切换的五波长掺铒光纤激光器实验装 置如图 1 所示,使用一个最大功率为 460 mW、中心波 长为 980 nm 的单模半导体激光器(LD)作为该五波 长光纤激光器的泵浦源,泵浦光从 980/1550 nm 的波 分复用器(WDM)耦合进入一段掺铒光纤(EDF)中, 为了提高激光器的泵浦效率与减少腔长,图 1 中所用 的掺铒光纤是长度为 4 m 的单模高掺杂铒离子的光 纤,该光纤具有 0.25 的数值孔径,870~970 nm 的截 止波长,由国外 Fibercore 有限公司生产,是 IsoGain 系列的 I-25 型光纤,对 980 nm 泵浦光的吸收系数 为 27 dB/m,远高于普通掺铒光纤3 dB/m的值。





激光器谐振腔的腔镜由一个萨格纳克环和高反 镜构成,左边萨格纳克环由一个3 dB 的光纤耦合器 (FC,分光比为50:50)、一个挤压式的偏振控制器 (PC,加拿大 OZ 公司生产)、一个啁啾光纤光栅 (CFG,带宽达到10 nm,反射率为50%)构成;右腔 镜由一个宽带高反镜(带宽为20 nm,反射率为 100%)构成。

工作过程如下:半导体激光器产生的 980 nm 的泵浦光,通过波分复用器耦合进铒光纤中产生 自发辐射光,再经过高反镜的全反射,左环由包含 啁啾光栅的萨格纳克环构成,作用类似于一个梳 状滤波器,其理论来源于文献[9]。根据文献中的 理论,在内含一个光纤光栅的萨格纳克环中,当环 的两臂长度相差为  $\Delta L$ 时,在光纤光栅反射谱的包 络中会产生多个波长输出,波长间距  $\Delta \lambda = \frac{\lambda^2}{2n_e \Delta L}$ , 该式中的 $\lambda$  为传输光的波长, $n_e$ 是纤芯的有效折射 率,公式中,当  $\Delta L$  一定时,波长间距  $\Delta \lambda$  是固定不 变的,所以要扩大更多的波长输出,只有通过扩宽 光栅的反射谱的带宽,于是使用了比光纤布拉格 光栅带宽更宽的啁啾光纤光栅,期望获得更多的 多波长同时输出。

当传输的光波在谐振腔中不断地振荡时,通过 调节左环中的偏振控制器可以改变激光腔中传输光 的偏振态,从而调节各种光波长的增益与损耗,最终 达到控制激发线的数目,实现稳定的可切换的多波 长输出,最后产生的激光从光纤耦合器(FC)的另一 端输出到日本产的光纤光谱仪(OSA,分辨率为 0.02 nm)中进行参数测量。

#### 3 结果与讨论

调整左环中的偏振控制器的旋转角度,我们可 以得到最多波长为五波长的同时输出,而且只有一 种情况,如图 2 所示,这 5 条激发线波长分别位于 1527.89 nm、1529.25 nm、1529.63 nm、1531.4 nm 与 1532.90 nm,他们均具有小于 0.37 nm 的带宽。从 图上可以看出,五波长的均衡性较好,经测定峰值功 率的最大差异(最高波峰与最低波峰所对应的最大 光强之差,即对应的纵坐标之差)为 5 dB,光学信噪 比大于 40 dB。



图 2 五波长输出谱图 Fig. 2 Output spectra of five wavelengths

通过仔细调整偏振控制器的角度,我们调节了 各种激发波长的偏振态,达到增益与损耗的再平衡, 可以使某些波长的损耗大于增益从而达到减少激发 波长的目的,于是我们得到了一种四波长的同时输 出,结果如图 3 所示。这四条激发线波长分别位于 1528.71 nm、1530.75 nm、1532.90 nm 与 1533.03 nm,四个波峰的功率差异约为 8 dB,线宽 为 0.2 nm,光学信噪比大于 32 dB。



图 3 四波长输出谱图 Fig. 3 Output spectra of four wavelengths

进一步调整偏振控制器,我们进一步得到一种 三波长同时输出,如图 4 所示,三条激发线分别位于 1529.62 nm、1532.30 nm 与 1532.50 nm 可以看出他 们带宽都是比较窄的,约 0.4 nm 宽度,光学信噪比 大于 40 dB,峰值功率差异小于 5 dB。





最后反复调节偏振控制器,我们得到了一种两 波长输出谱,如图 5 所示,左边的激发线位于 1529.21 nm 波长处,右边激发线波长位于 1530.07 nm,可以看出在该处由于模式竞争比较激烈,所以 波峰上出现四个小峰,这时波长的抑制不太理想,两 条激发线波峰的功率均匀度较为均匀,几乎没有差 异,同时具有大于 40 dB 的光学信噪比以及小于 0.6 nm的线宽。



Fig. 5 Output spectra of two wavelengths

#### 4 结束语

我们设计并实验验证了一种基于啁啾光纤光栅 的五波长掺铒光纤激光器,采用了线性腔结构,激光 器谐振腔的一个腔镜是由一个包含宽带啁啾光纤光 栅的萨格纳克环担当,起了一个梳状滤波器的作用, 另一个腔镜由一个宽带光纤反射镜担当,调整环中 的偏振控制器,获得了最多五波长的激光输出,同时 具有4种不同的激光可切换输出模式,所有激发线 均具有大于32 dB 的光学信噪比和窄线宽输出以及 较小的峰值功率差异。

#### 参考文献:

 [1] YAO Xiaoqing, SUN Wei, WANG Qibing, Double-wavelength single-frequency fiber laser based on loop filter
 [J]. Laser Technology, 2017, 41(1):98 - 100. (in Chinese)
 姚晓琼,孙薇,王喜斌.基于环形滤波器的双波长单频

光纤激光器[J].激光技术,2017,41(1):98-100.

[2] WANG Feng, BI Weihong, FU Xinghu, et al. Double-wavelength fiber laser based on overlapping grating of erbium-doped fiber[J]. Chinese Journal of Lasers, 2016, 43 (4):0402002 - 1 - 7. (in Chinese)
王枫,毕卫红,付兴虎,等. 基于掺铒光纤重叠光栅的双波长光纤测光器[I] 中国激光 2016 43 (4).

双波长光纤激光器[J]. 中国激光, 2016, 43 (4): 0402002-1-7.

[3] ZHOU Xuefang, NI Yong, WEI Yizhen, Research on L-band linear-cavity multi-wavelength erbium-doped fiber laser[J]. Optical Communication Technology, 2016, 7:40-42. (in Chinese)
周雪芳, 倪勇, 魏一振. L 波段线形腔多波长掺铒光纤

激光器的研究[J]. 光通信技术,2016,7:40-42.

 [4] HUANG Changqing, LIU Mengshi, CHE Tengyun, et al. Research on tunable multi-wavelength random fiber laser based on semi-open cavity[J]. Chinese Journal of Lasers, 2016,43(3):0302001-1-6. (in Chinese)

> 黄昌清,刘梦诗,车腾云,等.基于半开放腔的可调谐 多波长随机光纤激光器研究[J].中国激光,2016,43 (3):0302001-1-6.

- [5] CHEN Jiao, TONG Zhengrong, ZHANG Weihua, et al. Temperature-tunable multi-wavelength fiber laser adopting compound filters [J]. Infrared and Laser Engineering, 2018,47(1):0105001-1-7. (in Chinese)
  陈娇,童峥嵘,张卫华,等. 采用复合滤波器的温度可 调谐多波长光纤激光器[J]. 红外与激光工程,2018, 47(1):0105001-1-7.
- [6] CAI Yu, QIAN Yuhao, WAN Hongdan, et al. Multi-wavelength mode-locked fiber laser based on micro-nanometer fiber ring[J]. Chinese Journal of Lasers, 2017, 44(9): 0901001 1 5. (in Chinese) 蔡宇, 钱禹豪, 万洪丹, 等. 基于微纳光纤环的多波长 锁模光纤激光器[J]. 中国激光, 2017, 44(9): 0901001 1 5.
- [7] XIAO Pingping, DENG Manlan, HU Hongwu, Multi-wavelength single-mode Brillouin fiber laser based on passive cavity[J]. Laser Technology, 2016, 40(5):727 729. (in Chinese)
  肖平平,邓满兰,胡红武. 基于无源腔多波长单模布里 渊光纤激光器[J].激光技术,2016,40(5):727 729.
- [8] ZOU Hui, XIONG Hui, ZHENG Yalu. Tunable multi-wavelength self-exited Brillouin erbium-doped fiber laser
  [J]. Chinese Journal of Lasers, 2017, 44(10):1001001
  -1-6.(in Chinese)
  邹辉,熊慧,郑亚如.可调谐多波长自激布里渊掺铒光

纤激光器[J].中国激光,2017,44(10):1001001-1-6.

 Xuewen Shu, Shan Jiang, Dexiu Huang. Fiber grating Sagnac loop and its multiwavelength-laser application [J].
 IEEE Photonics Technology Letters, 2000, 12 (8): 980-982.