

# 光纤激光器的多波长脉冲产生及色散补偿

张劲松<sup>1</sup>, 李唐军<sup>2</sup>, 简水生<sup>2</sup>

(11 深圳市中兴通讯股份有限公司, 深圳 518057; 21 北方交通大学光波技术研究所, 北京 100044)

**摘 要:** 利用多反射峰光纤光栅确定波长, 采用 R 形腔结构, 获得了 8 波长同时激励, 输出波长间隔满足 ITU-T 所建议的 WDM 光纤通信系统波长标准, 并利用一 8 反射峰啁啾光栅补偿了调制后 8 波长锁模光脉冲传输 100km 的色散。

**关键词:** 光纤光栅; 光纤激光器; 主动锁模

**中图分类号:** TN248      **文献标识码:** A      **文章编号:** 0372-2112 (2001) 05-0698-03

## Generation and Dispersion Compensation for Multi-Wavelength Pulses of Fiber Lasers

ZHANG Jing-song<sup>1</sup>, LI Tang-jun<sup>2</sup>, JIAN Shu-sheng<sup>2</sup>

(11 ZTE Corporation, Shenzhen 518057, China; 21 Institute of Lightwave Technology, Northern Jiaotong University, Beijing 100044, China)

**Abstract:** By using of the multi-peak grating to select the wavelengths, we fabricated R-shaped fiber lasers with 8 wavelengths simultaneous lasing. The spacing of output wavelength accords with the WDM wavelength standard proposed by ITU-T. The dispersion compensation for the 8-wavelength mode-locked pulses after 100km SMF transmission using the chirped grating is also implemented.

**Key words:** fiber grating; fiber laser; active mode-locking

## 1 引言

波分复用(WDM)光纤通信系统目前在世界范围内得到了高速的发展. 研究可用于 WDM 系统的多波长激光器无疑具有重要的意义. 因为与光纤的兼容性好, 结构简单、制作简便, 波长选择容易、可精确确定, 线宽窄, 抗电磁干扰, 高频调制下的频率啁啾效应极小等优点, 光纤激光器得到大量研究并取得长足的发展. 与外调制器相结合, 有可能在高速光纤通信系统中取代现有的 DBR 和 DFB 半导体激光器. WDM 通信系统要求多波长光源输出波长密集(通道波长间隔小), 带宽大, 功率谱平坦等. 由于增益谱较宽, 稀土掺杂离子寿命比较长可以降低不同波长间的串扰等特性, 掺铒光纤比较适合制作用于 WDM 系统的多波长光纤激光器.

我们利用自制的多反射峰光纤光栅确定波长, 采用 R 形腔结构, 获得了输出波长间隔 0.8nm、11.6nm 的 8 波长激光输出, 并利用一多反射峰啁啾光栅补偿了调制后 8 波长锁模光脉冲传输 100km 后的色散.

## 2 多波长光纤激光器的研制

实验装置如图 1 所示. 980nm 泵浦光通过 980nm/1550nm 波分复用器有效地耦合到谐振腔中. 多反射峰(8 峰)光纤光栅一方面提供光反馈, 一方面起着输出耦合器的作用. 以一个 8 反射峰光纤光栅代替多个单反射峰光栅的级联, 减小了激光器的尺寸, 使不同波长的谐振腔腔长一样并避免了多个单

反射峰光栅间的熔接损耗, 但对各个波长难以实现单独调谐. R 形腔结构与 DBR 结构相比, 只需要一个多反射峰光栅, 而 DBR 结构需要多对 Bragg 波长高度一致的一对多反射峰光栅, 实际制作比较困难. 我们这种采用多反射峰光纤光栅的 R 形腔结构极大地简化了多波长光纤激光器的制作.

所用调制器为 UTPLiNbO<sub>3</sub> 光幅度调制器, 利用 HP83711B 型频率合成器提供 ~10GHz、10dBm 正弦信号, 经过放大后作为幅度调制器的射频(RF)输入, 仔细调节直流偏置使调制器在线性区域工作. 光脉冲输出送到 ANDO AQ6317 光谱仪(OSA)或 Tektronix CSA803A 型通信信号分析仪进行观察.

由于掺铒光纤的均匀展宽特性, 各波长之间的竞争比较严重, 在室温下很难观察到多个波长的同时激励. 为减小掺铒光纤的均匀展宽线宽以得到更多波长输出, 将掺铒光纤浸入液氮中(温度 77K).

采用一相邻反射峰间隔约 0.8nm 的 8 反射峰光纤光栅. 泵浦功率还未达到形成激光振荡所需的阈值功率时, 在光谱仪上观察如图 2(a)所示的光栅透射谱. 增大泵浦功率, 观察到了如图 3(a)所示的 8 个波长同时激励. 相邻波长间隔约 0.8nm, 单波长线宽 0.01nm(受光谱仪分辨率的限制). 图 3(a)所示的 8 个波长位置与图 2(a)所示的透射谱基本相符.

换用一相邻反射峰间隔约 11.6nm 的 8 反射峰光纤光栅, 观察到了如图 3(b)所示的 8 个波长同时激励. 相邻波长间隔约 11.6nm, 单波长线宽 0.01nm(受光谱仪分辨率的限制). 泵浦

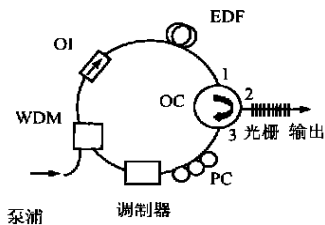


图1 R形腔主动锁模光纤激光器实验装置图

功率还未达到形成激光振荡所需的阈值功率时的光栅透射谱如图2(b)所示。图3(b)所示的8个波长位置与图2(b)所示的透射谱基本相符。调制后8波长激光脉冲光谱及其单波长(第7个波长)谱线的精细结构分别如图4(a)、(b)所示。输出激光光谱比较稳定,信噪比大于20dB,每个波长都包含多个模式,模式间隔0.08nm,这与10GHz的调制频率相对应。

就我们所知,国际上目前还没有如此有效、简便地实现满

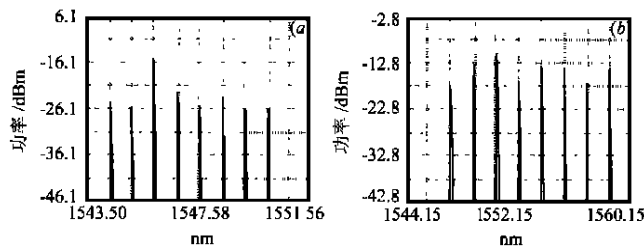


图3 8波长激光光谱

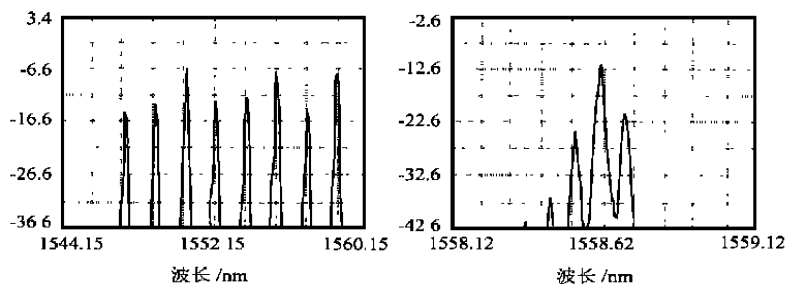


图4 锁模后8波长激光脉冲光谱(a)及其单波长谱线的精细结构(b)

图2 8反射峰光纤光栅的透射谱

足ITU-T所建议的WDM光纤通信系统波长标准的,8波长R形腔光纤激光器的研究报导。利用光纤光栅和普通掺铒光纤, J. M. Battiato 等<sup>[1]</sup>、S. K. Liaw 等<sup>[2]</sup>、S. V. Chernikov 等<sup>[3]</sup>的工作只得到了2波长激光输出。采用光纤光栅选频,与采用EPP腔标准具<sup>[4]</sup>、WGR<sup>[5]</sup>、WDM<sup>[6]</sup>等相比,大大降低了激光器的成本。采用光纤光栅选频,与利用空间模式拍频滤波特性<sup>[7]</sup>、 $L_2\alpha$ <sup>[8]</sup>滤波特性等相比,设计更为简单,易于实现。

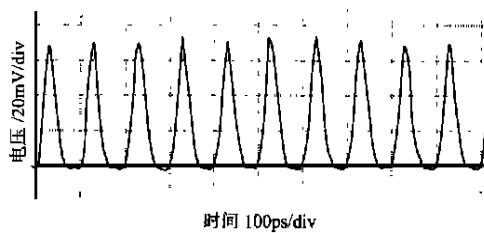


图5 传输前单路激光脉冲波形

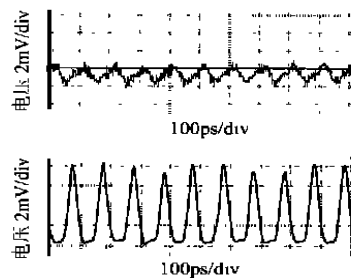


图6 经过100km普通单模光纤传输后的单路激光脉冲波形

图7 经过啁啾光栅色散补偿后的单路激光脉冲波形

可连续调节<sup>[9]</sup>。

仔细调节悬臂梁,100km普通单模光纤传输后的脉冲经过8反射峰光纤光栅反射后的单路脉冲波形如图7所示,与图5、图6比较可以看出啁啾光栅较好地补偿了100km普通单模光纤的色散,对另外7路同样观察到了一定的补偿效果。

#### 4 结论

由实验结果可见,通过适当地设计制作光纤光栅来确定波长,R形腔光纤激光器比较容易、简便地实现,满足ITU-T建议的WDM光纤通信系统波长标准的,多波长同时激励。说明基于多反射峰光纤光栅的R形腔光纤激光器的研制是一项极为有意义的研究工作。并且成本较低,10升液氮售价才25元左右,静态存放达1~2个月,如采用循环冷却,则费用更少。

将一个8反射峰均匀光纤光栅(Bragg波长与激光脉冲的8个波长相对应)粘贴在悬臂梁的表面,通过对悬臂梁的自由端施加作用力,实现了光栅的Chirp化且Bragg波长和Chirp量

EDF、光纤光栅、环形器等的制作已比较成熟. 如能采取措施进一步提高稳定性、输出功率及使各个波长的强度一致等, R 形腔多波长光纤激光器很有可能实用化, 这无疑具有重要的意义. 同时适当地设计制作啁啾光纤光栅可以有效地补偿普通单模光纤的色散.

#### 参考文献:

- [ 1 ] J. M. Battiato, T. F. Morse, et al. Dualwavelength commoncavity codoped fiber laser [J]. IEEE Photon. Technol. Lett., 1997, 9(7): 913- 915.
- [ 2 ] S. K. Liaw, C. C. Lee, et al. Power equalized wavelengthselective fiber lasers using fiber Bragg gratings [J], Opt. Commun., 1998, 155: 255- 259.
- [ 3 ] S. V. Chernikov, J. R. Taylor and R. Kashyap. Coupled cavity erbium fiber lasers incorporating fiber grating reflectors [J]. Opt. Lett., 1993, 18(23): 2023- 2025.
- [ 4 ] J. Chow, G. Town, et al. Multiwavelength generation in an erbiumdoped fiber laser using in fiber comb filters [J]. IEEE Photon. Technol. Lett., 1996, 8(1): 60- 62.
- [ 5 ] T. Miyazaki, N. Edagawa, S. Yamamoto and S. Akida. A multiwavelength fiber ringlaser employing a pair of silica based arrayed waveguide gratings [J]. IEEE Photon. Technol. Lett., 1997, 9(7): 910- 912.
- [ 6 ] H. Takahashi, H. Toba and Y. Inoue. Multiwavelength ring laser composed of EDFAS and an arrayed waveguide wavelength multiplexer [J]. Electronics Letters, 1994, 30(1): 44- 45.
- [ 7 ] A. J. Poustie, N. Finlayson and P. Harper. Multiwavelength fiber laser using a spatial mode beating filter [J]. Opt. Lett., 1994, 19(10): 716 - 718.

- [ 8 ] N. Park and P. F. Wysocki. 2line multiwavelength operation of erbiumdoped fiber ring laser [J]. IEEE Photon. Technol. Lett., 1996, 8(11): 1459- 1461.
- [ 9 ] Jian Shuisheng, Zhao Yucheng, Wei Daoping, Li Tangjun, Chen Genxiang and Qin Yuwen. Dispersion compensation experiment on 19 ps pulse width over 133km single mode fiber with tunable chirp and wave length gratings [J]. Science in China (series E), 1999, 42(2): 165.

#### 作者简介:



张劲松 31 岁, 1990 年于复旦大学物理系获理学学士学位, 1996 年于武汉大学物理系获理学硕士学位, 1999 年于北方交通大学光波技术研究所获工学博士学位. 现在深圳市中兴通讯股份有限公司工作. 主要从事全光网、光纤光栅、光纤激光器和放大器等方面的研究. 在国内外重要学术期刊及会议上发表论文 40 余篇.



李唐军 44 岁, 高级工程师. 1981 年、1985 年于北京理工大学光学工程系获学士、硕士学位. 1987 年至今, 在北方交通大学光波技术研究所任教. 研究领域主要有: 光纤通信、光纤测量、光纤传感、光纤无源器件等. 在国内外重要学术期刊及会议上发表论文 50 余篇.