

文章编号: 1001-4322(2013)02-0355-03

## 分布反馈式光纤激光器的光热调谐方法\*

赵 强<sup>1,2</sup>, 王永杰<sup>2</sup>, 徐团伟<sup>2</sup>, 戴 兴<sup>1,2</sup>, 李 芳<sup>2</sup>, 曲 轶<sup>1</sup>

(1. 长春理工大学 高功率半导体激光国家重点实验室, 长春 130022; 2. 中国科学院 半导体研究所, 光电系统实验室, 北京 100083)

**摘 要:** 针对现有光纤激光器调谐方法通常不能兼顾调谐幅度和调谐速率的问题, 提出了一种基于光热效应的调谐方法, 有效兼顾了调谐幅度和调谐速率的要求。分析了光纤激光器的输出波长随泵浦功率变化而改变的实验现象, 并以 980 nm 泵浦源自身调谐为例, 进行了静态和动态实验, 结果表明: 基于光热效应的分布反馈式光纤激光器静态调谐幅度达 392 MHz/100 mA, 动态调谐速率超过 2 kHz, 验证了光纤激光器光热调谐方案的可行性。

**关键词:** 光纤激光器; 光热效应; 光热调谐; 静态调谐

**中图分类号:** TN253 **文献标志码:** A **doi:**10.3788/HPLPB20132502.0355

可调谐光纤激光器作为一种新型光源, 因能有效解决分布式光纤传感中, 动态距离和空间精度之间的矛盾而倍受关注<sup>[1-3]</sup>。其中, 光纤光栅作为谐振腔的可调谐光纤激光器因结构短小紧凑、与光纤之间具有天然的兼容性而成为当前研究的热点<sup>[4-5]</sup>。目前光纤激光器波长调谐的常用方法有机械调谐法<sup>[6]</sup>、电磁调谐法<sup>[7]</sup>、热调谐法<sup>[8]</sup>、压电陶瓷调谐法<sup>[9]</sup>等。但是, 它们通常不能兼顾调谐幅度和调谐速率的要求, 例如机械调谐最简单易行, 与悬臂梁等机械结构结合, 常可达到较大的调谐幅度, 但受机械结构限制, 很难实现高精度、快速的调谐; 电磁调谐法响应速度快, 但调制幅度过小, 且易受电磁干扰; 热调谐法可实现 nm 量级大范围调谐, 但其响应速度慢, 每调谐一个波长往往需要数 min 的稳定时间, 因此仅能进行准静态调谐, 无法动态调谐; 压电陶瓷法已商用, 虽然其调谐速度快, 但其调谐范围达 20 pm, 调谐电压却高达 200 V。本文针对上述常用调谐方法中存在的问题, 提出一种基于光热效应的调谐方案。

### 1 光热调谐原理及实验现象

不同的泵浦功率下, 激光器的输出波长随之改变, 即随着泵浦功率的加大, 激光器的输出波长向长波方向偏移; 随着泵浦功率的减小, 激光器的输出波长向短波方向偏移。这说明, 光纤激光器中存在光热转换的现象, 并且产生的热量可对激光器的波长进行不同程度的调谐, 实质是对光纤光栅中心波长的调谐。在无应变条件下, 光纤光栅中心反射波长( $\lambda_B$ )的偏移量  $\Delta\lambda_B$  与环境温度变化  $\Delta T$  的关系可表示为<sup>[10]</sup>

$$\Delta\lambda_B = \lambda_B(\alpha + \xi)\Delta T \quad (1)$$

式中:  $\alpha = (1/\Lambda)(d\Lambda/dT)$ , 是光纤材料的热膨胀系数,  $\Lambda$  为光栅栅距,  $T$  为环境温度;  $\xi = (dn_{\text{eff}}/dT)$  是光纤材料的热光系数,  $n_{\text{eff}}$  为光纤有效折射率。由式(1)可知, 光纤光栅的中心波长偏移量  $\Delta\lambda_B$  与环境温度变化量  $\Delta T$  呈线性。随着泵浦光的进入, 光纤激光器有源区材料因吸收了部分辐射光而发热(即产生光热效应), 使得栅区部分升温, 引起光栅中心波长偏移, 激光器的输出波长也相应的发生偏移。

外差法测试系统如图 1 所示, 泵浦源(JD-SU:29-7402-460-FL)为输出波长 980 nm 的激光二极管; 栅区长度 44 mm 的自制分布反馈式(DFB)光纤激光器工作波长在 C 波段, 在泵浦源激励下可产生窄线宽激光; 参考激光器(Agilent 8164B)也可作为静态测试的参考用光; 罗德与施瓦茨(Rohde & Schwarz)频谱仪可观测

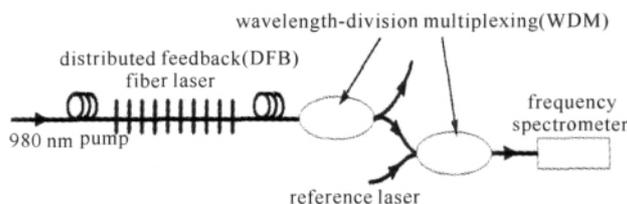


Fig. 1 Schematic of fiber laser heterodyne system

图 1 光纤激光器外差系统图

\* 收稿日期: 2012-05-29; 修订日期: 2012-09-27

基金项目: 国家自然科学基金项目(61077059, 61107071); 广东省中国科学院全面战略合作项目(2010A090100002)

作者简介: 赵 强(1982—), 男, 博士研究生, 主要从事光纤传感及其在海洋探测中的应用研究; zqhero9494@163.com。

通信作者: 曲 轶(1969—), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事半导体光电子器件方面的研究工作; quyi@cust.edu.cn。

波长随泵浦光变化的静态规律。当泵浦源功率从 12 mW 增加到 140 mW, 激光器波长漂移近 14 pm, 其光热调谐效率约为 0.11 pm/mW, 激光器泵浦功率与输出波长偏移量的关系如图 2 所示, 二者近似成线性关系。

## 2 调谐实验

### 2.1 静态特性

通过外差测试的方式, 分别将光纤激光器放置在空气中和水中, 激光器驱动电流从 100 mA 逐步增加到 400 mA, 激光器输出波长随之变化, 静态调谐实验系统如图 3 所示。激光器驱动电源(ILXlight wave; LDC-3724B) 可根据信号发生器的输出, 产生任意大小的激光器驱动电流, 从而调制泵浦激光器。激光器在空气和水中, 其输出波长的偏移量与泵浦源驱动电流之间的关系如图 4 所示。当激光器放置在空气中时, 驱动电流在从 100 mA 增长到 400 mA 的过程中, 激光器的波长调谐幅度达到 392 MHz/100 mA, 且最大的调制范围达到 1175 MHz; 当激光器放置在水中时, 激光器的波长调谐幅度仅为 8.7 MHz/100 mA。其原因是水的比热大, 能够快速散掉激光器产生的热量, 光热效应基本消失, 可见散热条件对激光器的热光调谐影响很大, 因此适当选择比热较小的材料进行封装可增加激光器的热光调谐能力。实验还说明, 虽然泵浦光强变化会引起输出光功率和波长的扰动, 但从两种环境介质的散热现象来看, 激光器的光热效应在波长调谐中起绝对的主导作用。

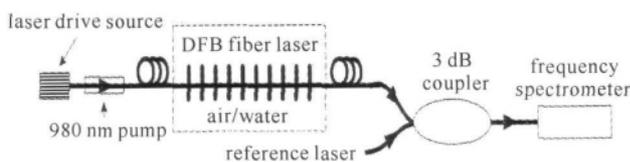


Fig. 3 Schematic of static tuning system

图 3 静态调谐系统图

### 2.2 动态特性

利用信号发生器高速调制驱动源, 进而驱动泵浦激光器产生相应功率的光信号, 即产生高速调制的泵浦光。在光热效应的作用下, 光纤激光器输出波长也会相应被高速调谐, 动态调谐实验系统如图 5 所示。实验中的高精度波长解调仪是自行研制的波长解调装置, 系统采用相位产生载波(PGC)法<sup>[11]</sup>对激光器的波长快速偏移进行解调, 解调频段为 20 Hz~2 kHz, 对不同频率激励下的激光器输出波长进行了测量, 图 6 为调谐信号对比图。通过图 6 可以看出, 从 100 Hz 到 2 kHz 范围内, 光纤激光器在高速调制光作用下, 其输出波长随之被高速调谐, 且调谐速度至少

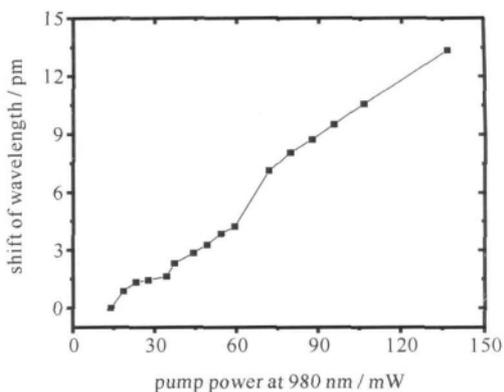


Fig. 2 Shift of wavelength vs pump power

图 2 波长偏移随泵浦功率变化关系

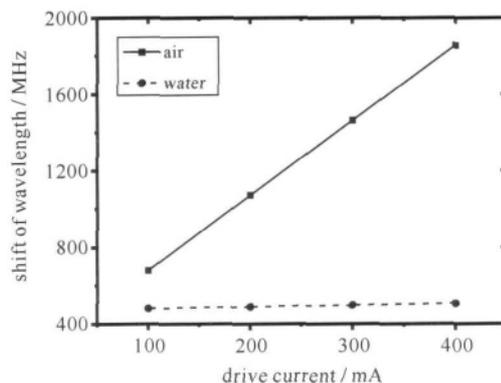


Fig. 4 Shift of wavelength vs drive current

图 4 输出波长偏移与驱动电流的关系

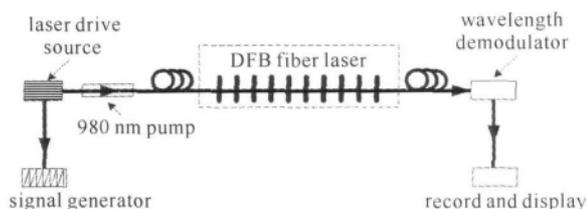


Fig. 5 Schematic of dynamic tuning system

图 5 动态调谐实验系统图

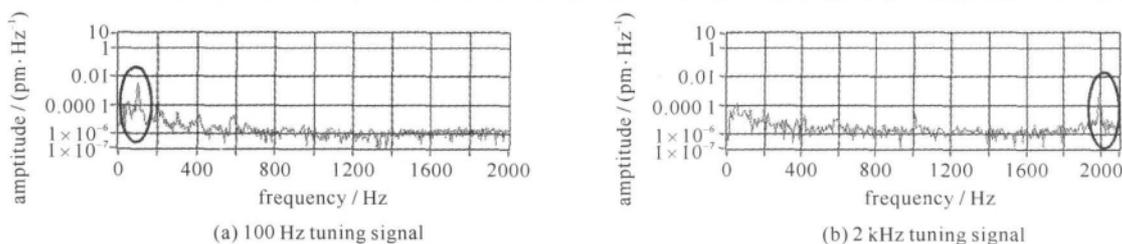


Fig. 6 Comparison of 100 Hz and 2 kHz tuning signals

图 6 100 Hz 和 2 kHz 调谐信号对比

可以达到 2 kHz(受限于高精度波长解调系统的解调频段的上限)。因此,用光热效应调谐的方式可以实现快速动态调谐。

### 3 讨论

基于光热效应的 DFB 光纤激光器调谐方法,还可由以下几方面的优化进一步提高系统调谐能力:(1)光纤材质的优化。文中采用掺铒光纤,泵浦光的热调谐效率为 0.11 pm/mW。文献[12]中采用饵镱共掺杂光纤,其调谐效率接近 2 pm/mW。这说明不同掺杂的有源光纤对光的吸收效率差别很大,可选择热吸收效率高的有源光纤进一步提高系统的光热调谐效率;(2)高吸收效率光热光源的引进。同种光纤对不同波长的光吸收效率差别很大,因此在光纤激光器系统中,可以通过引进其他波段的光热光源提高系统光热调谐能力;(3)光纤激光器功率稳定性提高。在光热光源作用下,光纤激光器内部的增益特性将会发生波动,进而影响光纤激光器输出功率和干涉光的稳定性,可以借助精确控温装置,保证激光器静态工作波长的稳定性。

### 4 结论

本文在理论分析的基础上,提出了一种基于光热效应的 DFB 光纤激光器调谐方法。利用 980 nm 泵浦自身光热调谐,对水和空气两种环境下的系统静态特性和 2 kHz 以下的动态特性进行了测量,结果表明,基于光热效应的 DFB 光纤激光器静态调谐幅度达 392 MHz/100 mA,动态调谐速率超过 2 kHz,是一种可行的光纤激光器调谐方法。相比于传统的热调谐方式(利用外部控温的方式),光热调谐法利用光纤材料自身对泵浦光部分吸收的原理,从光纤内部发出热量直接调制光纤光栅的波长,更易实现大幅度、高速率调谐。另外,光热调谐法不存在机械可移动部件及电子辅助器件,避免了其他传统调谐方式中振动、声响和电磁的干扰,系统结构简单,重复性好。

致谢 感谢国防科技大学的孟州和马丽娜老师给予的支持。

#### 参考文献:

- [1] Ball G A, Morey W W. Continuously tunable single-mode erbium fiber laser[J]. *Opt Lett*, 1992, **17**(6):420-422.
- [2] Yan Lianshan, Yi Anlin, Pan Wei, et al. A simple demodulation method for FBG temperature sensors using a narrow band wavelength tunable DFB laser[J]. *IEEE Photonics Technology Lett*, 2010, **22**(18):1391-1393.
- [3] Perez-Millan P, Palaci J, Cruz J L, et al. Dual-wavelength DFB erbium-doped fiber laser with tunable wavelength spacing[J]. *IEEE Photonics Technology Lett*, 2010, **22**(4):254-256.
- [4] Browning D F, Erbert G V. Distributed feedback fiber—laser the heart of the nation ignition[R]. UCRL-ID-155446, 2003.
- [5] 张红,杨春平,李伟,等.高功率全光纤激光器特性[J].*强激光与粒子束*, 2012, **24**(6):1287-1289. (Zhang Hong, Yang Chunping, Li We, et al. Characteristics of high power all-fiber laser. *High Power Laser and Particle Beams*, 2012, **24**(6):1287-1289)
- [6] Song Y W, Havstad S A, Starodubov D, et al. 40-nm-wide tunable fiber ring laser with single-mode operation using a highly stretchable FBG[J]. *IEEE Photonics Technology Lett*, 2001, **13**(11):1167-1169.
- [7] 黄勇林,董兴发,李杰,等.光纤光栅的电磁调谐[J].*半导体光电*, 2004, **25**(3):228-230. (Huang Yonglin, Dong Xingfa, Li Jie, et al. Electromagnetic force tuning of fiber Bragg grating. *Semiconductor Optoelectronics*, 2004, **25**(3):228-230)
- [8] Li S Y, Ngo N Q, Tjin S C, et al. Thermally tunable narrow-bandpass filter based on a linearly chirped fiber Bragg grating[J]. *Opt Lett*, 2004, **29**(1):29-31.
- [9] Oh M M, Alavie A T, Maaskant R, et al. Dispersion variable fibre Bragg grating using a piezoelectric stack[J]. *Electron Lett*, 1996, **32**(21):2000-2001.
- [10] Kersey A D, Davis M A, Patrick H J, et al. Fiber grating sensors[J]. *Journal of Lightwave Technology*, 1997, **15**(8):1442-1463.
- [11] Dandridge A, Tveten A B, Giallorenzi T G. Homodyne demodulation schemes for fiber optic sensors using phase generated carrier[J]. *IEEE J Quant Electron*, 1982, **18**(10):1647-1653.
- [12] Xu Y Z, Tam H Y, Liu S Y, et al. Pump-induced thermal effects in Er-Yb fiber grating DBR lasers[J]. *IEEE Photonics Technology Lett*, 1998, **10**(9):1253-1255.

## Distributed feedback fiber laser tuning method based on photo-thermal effect

Zhao Qiang<sup>1,2</sup>, Wang Yongjie<sup>2</sup>, Xu Tuanwei<sup>2</sup>, Dai Xing<sup>1,2</sup>, Li Fang<sup>2</sup>, Qu Yi<sup>1</sup>

(1. National Key Laboratory on High Power Semiconductor Lasers, Changchun University of Science and Technology, Changchun 130022, China;

2. Optoelectronic System Laboratory, Institute of Semiconductors, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083, China)

**Abstract:** The existing tuning methods of fiber lasers are researched, and they usually cannot take into account the requirements of the tuning range and tuning rate. To solve this problem, a new tuning method based on the photo-thermal effect is proposed, the experimental phenomenon shows that the output wavelength of fiber lasers varies with the pump's power. The static and dynamic tuning characteristics of fiber lasers reveal that the tuning range is about 392 MHz/100 mA and the tuning rate is more than 2 kHz in 980 nm pump source self-tuning. The feasibility of this tuning method has been verified.

**Key words:** fiber lasers; photo-thermal effect; photo-thermal tuning; static tuning