

文章编号: 1001-3806 (2008) 02-0210-02

## 基于频移和偏振烧孔的多波长掺铒光纤激光器

董军伦, 孙军强\*

(华中科技大学 光电子科学与工程学院, 武汉 430074)

**摘要:** 为了研究能够在室温下实现稳定多波长输出的掺铒光纤激光器, 采用了在激光谐振腔中引入正弦相位调制和偏振烧孔来抑制腔中模式竞争的方法。在线形谐振腔中, 利用半导体光波导作为一个反射腔镜, 并用正弦信号对其进行驱动。这样, 半导体光波导可以等效成一个对光信号产生移频反馈效果的正弦相位调制器和一个诱使掺铒光纤中产生偏振烧孔的非线性相位延时器。通过实验, 得到了 10 波长输出的稳定光谱。相邻波长间隔为 0.32nm, 功率谱比较平坦, 起伏小于 3dB。结果表明, 相位调制和偏振烧孔的共同作用, 可有效地抑制由于掺铒光纤的均匀展宽效应引起的模式竞争。

**关键词:** 激光技术; 掺铒光纤激光器; 偏振烧孔效应; 相位调制; 模式竞争

**中图分类号:** TN248.1 **文献标识码:** A

## Multiwavelength erbium-doped fiber laser based on frequency shift and polarization hole burning

DONG Jun-lun, SUN Jun-qiang

(School of Optoelectronics Science and Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** For realizing a stable multiwavelength erbium-doped fiber laser at room temperature, sinusoidal phase modulation and polarization hole burning are introduced in the laser cavity to suppress the mode competition. In the linear cavity, a semiconductor optical waveguide is used as a reflective mirror, and driven by a sinusoidal signal. The semiconductor waveguide can be classified here as two optical devices: a sinusoidal phase modulator and a nonlinear phase retarder. The sinusoidal phase modulator produces frequency shift for the fiber laser, and the nonlinear phase retarder introduces polarization hole burning in the erbium-doped fiber. Stable lasing with multiple wavelengths up to 10 and wavelength spacing of 0.32nm was demonstrated at room temperature. The power fluctuation was less than 3dB. The results that the phase modulation and polarization hole burning is propitious to suppress the mode competition owing to the homogeneous broaden line.

**Key words:** laser technique; erbium-doped fiber laser; polarization hole burning; phase modulation; mode competition

### 引 言

随着密集波分复用技术的广泛应用, 作为其中关键器件之一的 1560nm 波段的多波长掺铒光纤激光器近年来引起了研究者的极大兴趣。掺铒光纤激光器实现多波长输出最大的问题就是掺铒光纤在室温下的均匀展宽特性。这意味着掺铒光纤激光器的腔内存在着强烈的模式竞争, 单个波长的增益将直接影响腔内所有其它可能振荡波长的增益。为了获得室温下稳定的多波长输出, 很多学者提出了不同的方案, 如使用特殊的掺铒光纤结构<sup>[1]</sup>, 光反馈与非线性结构<sup>[2]</sup>, 以及频移反馈技术<sup>[3-4]</sup>等。虽然以上方法都能实现多波长输出, 但难以同时满足系统成本低廉、结构简单、方便实

用的要求。作者提出一种简单的线形掺铒光纤激光器结构, 利用偏振烧孔和相位调制的共同作用, 来实现多波长激光输出。

### 1 实验装置及原理

多波长掺铒光纤激光器的实验装置如图 1 所示。

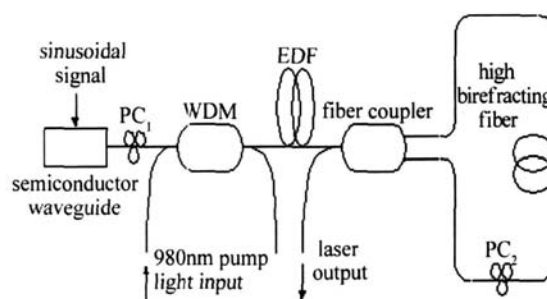


Fig 1 Schematically experimental diagram of the multiwavelength erbium-doped fiber laser

激光谐振腔包括: 一个由正弦信号调制的半导体光波导; 一段用来作为增益介质的掺铒光纤 (erbium-doped

作者简介: 董军伦 (1982-), 男, 硕士研究生, 从事光纤激光器方面的研究。

\* 通讯联系人。E-mail: jqsun@mail.hust.edu.cn

收稿日期: 2007-01-05; 收到修改稿日期: 2007-03-13

fiber, EDF),用 980nm 的 LD 通过 980nm/1550nm 的波分复用 (wavelength-division multiplexed, WDM) 光纤耦合器对其进行抽运;偏振控制器 (polarization controller, PC)<sub>1</sub>;由光纤耦合器、高双折射光纤、以及偏振控制器 PC<sub>2</sub> 构成的 Sagnac 光纤环形镜。半导体光波导与 Sagnac 光纤环形镜构成了线形谐振腔的两个反射腔镜。

半导体光波导是产生稳定多波长激光输出的关键器件,可以等效成两个器件:一个对 TE 模和 TM 模产生不同有效折射率和传输系数的非线性相位延迟器,和一个不考虑偏振态区别的相位调制器。

半导体光波导是增益偏振敏感和相位偏振敏感的器件<sup>[5]</sup>。在直流偏置的情况下,半导体光波导相当于非线性相位延迟器。当偏振光以一定的角度入射进半导体光波导后,TE 模和 TM 模将经历不同的线性和非线性相位延迟,导致输出偏振态的椭圆旋转。通过偏振控制器 PC<sub>1</sub> 进行调节,可改变入射至光波导的光偏振状态和强度。根据入射光的偏振态与入射强度的不同,经半导体光波导反射后,输出偏振光的偏振态及反射系数也不同,形成了对光强与偏振态有选择性的反馈,极大地增强了激光谐振腔内的光强和偏振态的非均匀性。由半导体光波导选择性反馈产生的偏振烧孔效应,使进入 EDF 的两个正交的偏振模,会经历不同的偏振相关增益<sup>[6]</sup>,从而极大地抑制了它的均匀展宽特性。

当对半导体光波导加载正弦信号进行调制时,其偏置电压由直流和交流两部分组成。其中的交流部分使半导体光波导在谐振腔中起着相位调制器的作用。当波长为 λ 的某一偏振态的光信号通过半导体光波导时,由于正弦信号的调制作用,会产生附加的相位变化<sup>[7]</sup>:

$$\phi_m(t) = \frac{4\pi L}{\lambda R} \frac{dn}{dN} \frac{dV}{dt} V_0 \cos(\omega_m t) \quad (1)$$

式中, n 是有源层的折射率, dn/dN 是折射率变化系数, L 是半导体光波导有源层的长度, dV/dt 是载流子随电流的变化系数, R 为半导体光波导信号端的电阻, V<sub>0</sub> cos(ω<sub>m</sub> t) 为外加正弦调制信号。

假设入射到半导体光波导上的光束为 exp(jω<sub>0</sub> t), 经调制后变成 exp[j(ω<sub>0</sub> t + φ<sub>m</sub>(t))], 可以将其展开成 ∑ C<sub>n</sub> exp[j(ω<sub>0</sub> + nω<sub>m</sub>) t] 的形式, 其中 ω<sub>m</sub> = 2π/T 为调制角频率。傅里叶系数为:

$$C_n = (1/T) \int_T \exp\{j[\phi_m(t) - 2\pi nt/T]\} dt \quad (2)$$

这样,激光在谐振腔中每循环一周,其频率将移动 ω<sub>m</sub>, 反馈回来的功率就转移到了相邻的频率分量上,从而抑制单个波长的稳定振荡<sup>[8]</sup>。

由光纤耦合器、高双折射光纤、以及偏振控制器 PC<sub>2</sub> 构成的 Sagnac 光纤环形镜在系统中起着梳状滤波

器的作用,反射率<sup>[9]</sup>为:

$$R = 1 - \sin^2 \theta \left[ 1 - \frac{1}{2} (1 + \cos \Delta \phi) \right] \quad (3)$$

式中, θ 为光束经过 PC<sub>2</sub> 后相对于双折射光纤主轴发生偏振旋转的角度。而 Δφ = 2πΔnL/λ, Δn 为双折射光纤快慢轴的折射率差。周期滤波器的波长间隔为 Δλ = λ<sup>2</sup> / (ΔnL)。

## 2 实验结果及分析

实验中所采用的半导体光波导为武汉电信器件有限公司生产的 LDM3S861 型的半导体激光器,阈值电流 I<sub>th</sub> = 20mA, 实验中要保证偏置电流一直处于阈值以下,其直流偏置取 I<sub>dc</sub> = 7mA。掺铒光纤为朗讯技术生产的 HP980 的 EDF。实验所用梳状滤波器中的双折射光纤快慢轴折射率差为 Δn = 0.000749, 长度 L = 12m, 其滤波周期为 0.32nm。测试所用光谱仪为 Anritsu 公司生产的 MS9710C。调节偏振控制器 PC<sub>1</sub> 的位置,图 2 为半导体光波导在直流偏置下的输出光谱。

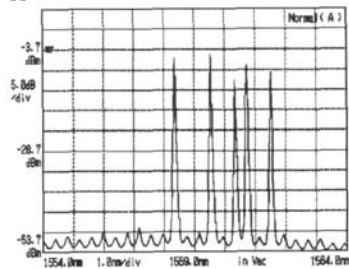


Fig 2 Laser output spectrum when semiconductor waveguide biased at 7mA without modulation

可以看到,在偏振烧孔效应的作用下,虽然一定程度上抑制了模式竞争,得到了多波长输出,但是功率不稳定,光谱间隔也不均匀。

当在半导体光波导上加一个峰峰值为 I<sub>ac</sub> = 12mA 的正弦调制后,由于正弦调制的移频效果,起振波长邻近的波长也会获得振荡。对一个给定的激光器来说,频移量是由调制振幅和调制频率共同决定的<sup>[7]</sup>,适当调节正弦信号的频率,可使输出光谱的频率相对平坦。图 3,图 4 是半导体光波导的正弦调制信号分别为 12.5kHz 和 20kHz 时的输出光谱。当调

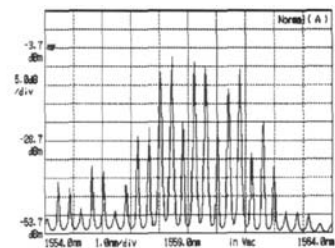


Fig 3 Laser output spectrum when semiconductor waveguide modulated at 12.5kHz

(下转第 214 页)

化情况。方解石晶体在  $0.4\mu\text{m} \sim 1.6\mu\text{m}$  的双折射率取值来自参考文献 [9], 以结构角  $S_1 = 39^\circ$ ,  $S_2 = 22^\circ$  的  $90^\circ$  偏光分束镜为例。图中分别给出了  $-1^\circ$ ,  $0^\circ$ ,  $1^\circ$  (曲线 1、曲线 3、曲线 5 为对应角度下的理论值, 曲线 2、曲线 4、曲线 6 为实验值) 3 种不同入射角情况下的光强分束比, 其变化规律基本上一致, 均为随着波长的增大, 两束光的光强差别越来越小, 当然这种变化在红外区会变得不是很明显。

### 3 结论

根据理论分析和实验观察, 能够比较清楚地反映出常用格兰式偏光分束棱镜在非正入射情况下, 光强分束比随入射角的增大而减小, 以负角度入射时光强分束比更接近于 1, 且以负角度入射时有光强分束比大于 1 的情况 (即出射的 e 光光强大于 o 光光强), 而以正角度入射时光强分束比始终小于 1。这给用户使用带来了方便, 适当改变入射角, 完全可以调整两束光的强度相等。当然, 也可以根据用户的要求, 在设计时通过调整结构角达到相同目的。另外, 研究表明, 入射角度一定时, 光强分束比随入射波长增加而增加, 且在短波范围内变化较快。建议科技工作者在实验过程中根据不同波长, 通过适当的入射角调整来达到光强一

致要求, 正入射并不一定是明智之举。

### 参考文献

- [1] REN Sh F, WU F Q, ZHAO P, *et al* Ternary parallel beam splitter combined of Iceland and glass [J]. Laser Technology, 2006, 30 (3): 311-312 (in Chinese).
- [2] B I J, WU F Q, ZHENG M M. Effect of incident angles on transmissivity of Glan-Taylor prism and maple-hess prism [J]. Laser Technology, 2006, 30 (5): 529-531 (in Chinese).
- [3] TANG H J, WU F Q, DENG H Y. Transmittance comparison of Glan-Taylor prism and Glan-Foucault prism [J]. Laser Technology, 2006, 30 (2): 215-217 (in Chinese).
- [4] KONG F Zh, SONG L K. Analysis of the effects of incident angle on light transmission of polarizing prism [J]. Laser Technology, 2006, 32 (1): 126-128 (in Chinese).
- [5] WANG W, WU F Q, SU F F. Researches of splitting angle and splitting intensity ratio of OE double escape prism [J]. Laser Technology, 2003, 27 (6): 560-562 (in Chinese).
- [6] ZHU H F, SONG L K, PENG H D, *et al* Distribution transmitted light of Glan-Taylor prism [J]. Acta Photonica Sinica, 2005, 34 (12): 1881-1883.
- [7] WU F Q, HUANG J Y, FENG T Zh, *et al* Reach on beam splitting intensity ratio of polarization beam split prism [J]. Laser Technology, 1994, 18 (5): 310-312 (in Chinese).
- [8] BORN M, WOLFE R. Principles of optics (volume one) [M]. Beijing: Science Press, 1978: 64-65 (in Chinese).
- [9] LI J Zh. Handbook of optics [M]. Xi'an: Shanxi Science and Technology Press, 1986: 1300 (in Chinese).

(上接第 211 页)

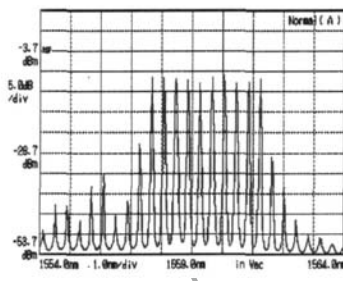


Fig 4 Laser output spectrum when semiconductor waveguide modulated at 20kHz

制频率为 20kHz 时, 功率谱较平坦, 且起伏小于 3dB。

### 3 结论

提出了一种基于偏振烧孔和正弦相位调制的多波长掺铒光纤激光器。它利用半导体光波导偏振敏感的性质使 EDFA 中产生偏振烧孔效应, 同时利用其在正弦调制下产生的频移反馈, 使光信号的功率转移到相邻的频率上, 以引起更多波长的同时激射。在室温下实现了波长间隔为  $0.32\text{nm}$  的稳定 10 波长激光输出。

### 参考文献

- [1] HUBNER J, VARMING P, KRISTENSEN M. Five wavelength DFB fiber laser source for WDM systems [J]. Electron Lett, 1997, 33 (2): 139-140.

- [2] L M D S, LEE H K, KM K H, *et al* Generation of multiorder Stokes and anti-Stokes lines in a Brillouin erbium-fiber laser with a Sagnac mirror [J]. Opt Lett, 1998, 23 (21): 1671-1673.
- [3] SUN G Y, QU R H, FANG Z J, *et al* Study on multiwavelength erbium-doped fiber laser with sinusoidal phase modulation [J]. Chinese Journal of Lasers, 2004, 31 (11): 1293-1295 (in Chinese).
- [4] LU F Y, DONG F J, XIE Ch X, *et al* Room temperature multiwavelength erbium-doped fiber laser [J]. Journal of Optoelectronics · Laser, 2004, 15 (6): 654-656 (in Chinese).
- [5] CUI Y Ch, ZHANG Sh L, FENG J Y. The gain and polarization characteristics of semiconductor optical amplifiers [J]. Laser Technology, 2005, 29 (5): 462-465 (in Chinese).
- [6] W Y SOCKI P, MAZURCZYK V. Polarization dependent gain in erbium-doped fiber amplifiers: computer model and approximate formulas [J]. IEEE Journal of Lightwave Technology, 1996, 14 (4): 572-584.
- [7] YAO J, YAO J P, DENG Zh Ch, *et al* Investigation of room-temperature multiwavelength fiber-ring laser that incorporates an SOA-based phase modulator in the laser cavity [J]. IEEE Journal of Lightwave Technology, 2005, 23 (8): 2484-2490.
- [8] ZHOU K J, ZHOU D Y, DONG F Zh, *et al* Room temperature multiwavelength erbium-doped fiber ring laser employing sinusoidal phase modulation feedback [J]. Opt Lett, 2003, 28 (11): 893-895.
- [9] ZHOU K J, YE W, YANG J L, *et al* Comb filter based on an all-polarization maintaining fiber loop and its applications [J]. Proc SPIE, 2002, 4833: 988-994.