

文章编号: 0253-2239(2006)09-1308-5

基于高双折射光纤布拉格光栅的自动增益控制 掺铒光纤放大器*

李国玉 窦清影 刘艳格 张昊 张健 袁树忠 董孝义

(南开大学现代光学研究所, 天津 300071)

摘要: 掺铒光纤非均匀展宽引起的空间烧孔现象导致单波长激光并不能完全控制放大器增益, 提出了一种新颖的自动增益控制掺铒光纤放大器的结构: 即采用高双折射光纤布拉格光栅产生抽运光, 其写制光栅的波峰对应的波长分别为 1549.3 nm 和 1549.83 nm, 波长间隔为 0.53 nm。通过调整偏振控制器, 就实现了单激光或双激光的增益控制。这种设计增益控制范围为 40 nm(1530~1570 nm), 当输入功率在 $-40 \sim -15$ dBm 的动态范围内, 双激光增益控制的掺铒光纤放大器的平均增益和噪声系数分别约为 22.22 dB 和 8.69 dB, 而它们的漂移分别被钳制在 0.69 dB 和 1.51 dB。系统性能测试表明: 双激光控制掺铒光纤放大器在稳定性方面比单激光有着明显的优势。

关键词: 掺铒光纤放大器; 波分复用; 光增益控制; 高双折射光纤布拉格光栅

中图分类号: TN253 文献标识码: A

Optical Automatic Gain-Clamped Erbium-Doped Fiber Amplifier Based on a High-Birefringence Fiber Bragg Grating

Li Guoyu Dou Qingying Liu Yange Zhang Hao Zhang Jian Yuan Shuzhong Dong Xiaoyi

(Institute of Modern Optics, Nankai University, Tianjin 300071)

Abstract: Spatial hole-burning caused by ununiform widening of erbium-doped fiber barricades the fully gain-controlled amplification of laser with single wavelength. A novel configuration of automatic gain-clamped optical erbium-doped fiber amplifier is presented, and a high-birefringence fiber Bragg grating is used to generate pumping lasers, peaks of which are written at 1549.3 nm and 1549.83 nm with a wavelength spacing of 0.53 nm. By adjusting a polarization controller, single- or dual- laser gain control is realized. The design has a gain-clamped bandwidth of 40 nm (1530~1570 nm). Within the dynamic range of input power $-40 \sim -15$ dBm, the average gain and noise figure of the dual- laser gain controlled erbium-doped fiber amplifier are approximately 22.22 dB and 8.69 dB, and their excursions are limited in 0.69 dB and 1.51 dB, respectively. The system performance testing shows that the more stable characteristic of dual- laser controlled erbium-doped fiber amplifier is an obvious advantage over the single- laser controlling.

Key words: erbium-doped fiber amplifier; wavelength division multiplexing; optical gain-clamped; high-birefringence fiber Bragg grating

1 引 言

掺铒光纤放大器(EDFA)由于具有高增益、宽带宽和对偏振的不敏感性等良好的特性而在波分复用(WDM)系统中得到广泛的应用。但是随着波分复用系统信道数目的增加, 由于交叉增益饱和效应而导致的瞬时功率和增益变化成为一个严重的问题^[1]。为了优化波分复用系统的性能, 提出了一些稳定掺铒光纤放大器的增益控制技术, 例如电路自动增益控制

(EAGC)、光自动增益控制(OAGC)和链接自动增益控制(LAGC)^[2,3]。其中, 光自动增益控制方法由于结构简单和可靠性良好而得到广泛的应用。

光自动增益控制的一种技术是在掺铒光纤中, 控制激光和信号光共同消耗光纤放大器上的能级粒子数来钳制增益。掺铒光纤的掺杂不是绝对均匀的, 因而表现出一定程度的光谱烧孔(SHB), 光增益控制利用单独的激光显示增益的变化, 而且在输

* 天津自然科学基金(033800211)资助课题。

作者简介: 李国玉(1977~), 男, 河北景县人, 南开大学现代光学研究所博士研究生, 主要从事光纤光栅传感方面的研究。
E-mail: guoyu_li@mail.nankai.edu.cn

收稿日期: 2005-11-09; 收到修改稿日期: 2006-01-09

入波动的情况下,控制激光的弛豫振荡会导致严重的瞬时输出功率漂移^[4,5]。为了提高系统的性能,本文提出了双波长激光控制方法,它能有效地降低由于光谱烧孔和弛豫振荡引起的增益变化。最近,赵春柳等提出了一种光自动增益控制技术,即利用两对光纤光栅(FBG)搭建双波长控制激光器^[6~8]。但是这种方法需要四根光纤光栅,而且每对光纤光栅的透射峰需要匹配一致。高双折射光纤光栅(HBFG)就是两反射峰在高双折射光纤中写制而得名^[9]。因为双波长光栅可以同时获得,所以这是实现双激光控制的一种简单的方法。同时,通过调整偏振控制器^[10],这两个反射峰的波长随之变化。因此单激光控制和双激光控制可随意转换。

2 实验装置

图 1 是光自动增益控制-掺铒光纤放大器(OAGC-EDFA)的实验装置示意图。增益介质是一段大约 6 m 长的掺铒光纤,抽运源是两个 980 nm 的激光二极管(LD1 和 LD2),通过 980 nm 和 1550 nm 两个波分复用器(WDM1 和 WDM2)连接增益介质。掺铒光纤在 979 nm 的吸收系数和数值孔径分别是 15.2 dB 和 0.22,前向抽运源和后向抽运源的输出功率分别是 75.6 mW 和 47.3 mW。环形腔形成的双振荡激光是由两个光学环形器(OC1 和 OC3)组成,另外一个环形器(OC2)和高双折射光纤光栅相连,产生两束反射光。一个数字可调的光学衰减器(VOA)用来改变腔的损耗,实验中设置为 10.84 dB。偏振控制器用来调整两束激光的强度,两个隔离器(ISO1 和 ISO2)来保证控制光不沿反方向传播,以降低噪声系数。

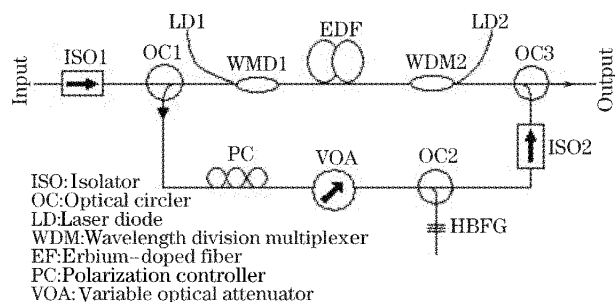


图 1 实验装置示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the experimental setup

图 2 是高双折射光纤光栅的透射谱。透射深度约为 1 dB 的两个透射峰值分别在 1549.3 nm 和 1549.83 nm 处,两个峰的波长间隔很小,约为 0.53 nm,光谱分析仪(OSA)的分辨力为 0.1 nm。

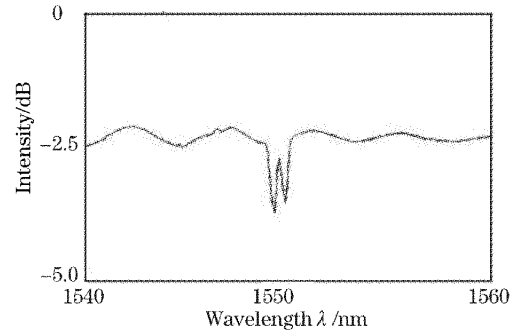


图 2 高双折射光纤光栅的透射谱

Fig. 2 Transmission spectrum of the high birefringence fiber grating

输入信号由宽带光源提供,输入信号的强度由可调谐衰减器控制。输入信号从 OC1 进入放大器系统,经过掺铒光纤放大传输,最后经 OC3 输出。约 6 m 长的掺铒光纤由双向抽运源 LD1 和 LD2 抽运,产生于高双折射光纤光栅的两束反射光由于 OC2 的存在只能逆时针传播,通过 OC3,经过掺铒光纤的放大,到达 OC1 端。当环形腔的损耗和反射光的增益相等时,就形成了振荡激光,它和信号光共同消耗掺铒光纤能级上的粒子。通过调节光学衰减器,使控制激光强度增大,即环形腔的损耗减小时,控制激光将消耗掺铒光纤更多的能级粒子,使掺铒光纤粒子数反转程度降低,信号光获得的增益变小。随着环形腔内损耗的增大,控制激光强度减小,掺铒光纤粒子数反转程度升高,信号光获得的增益变大。改变环形腔内的损耗,可以得到不同的信号增益,因此控制激光强度可在掺铒光纤放大器中起到自动控制增益的作用。

3 结果和讨论

当不输入信号时,如图 3 所示,掺铒光纤放大器

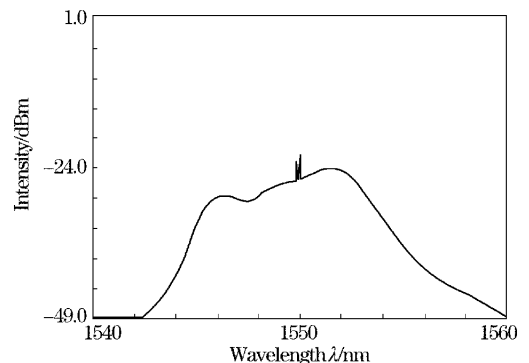


图 3 具有两低强度激光的输出放大自发辐射谱

Fig. 3 Output of amplified spontaneous emission spectrum with two-low intensity lasers

的放大自发辐射(ASE)谱有两个强度非常低的激光。放大自发辐射谱的强度可以通过调节光学衰减器来改变,这也影响两控制激光的强度。它们的强度同时也受到偏振控制器的影响,通过调节偏振控制器,可以随意得到单控制激光和双控制激光,如图4所示。图4(a)是波长在1549.3 nm处的单控制

激光,图4(b)是波长在1549.83 nm处的单控制激光,图4(c)是共同存在的双控制激光。

单束和双束激光控制增益的性能如图5所示。信号光和控制激光共同消耗能级上的铒粒子,每当输入信号增强,控制激光相应地减弱。

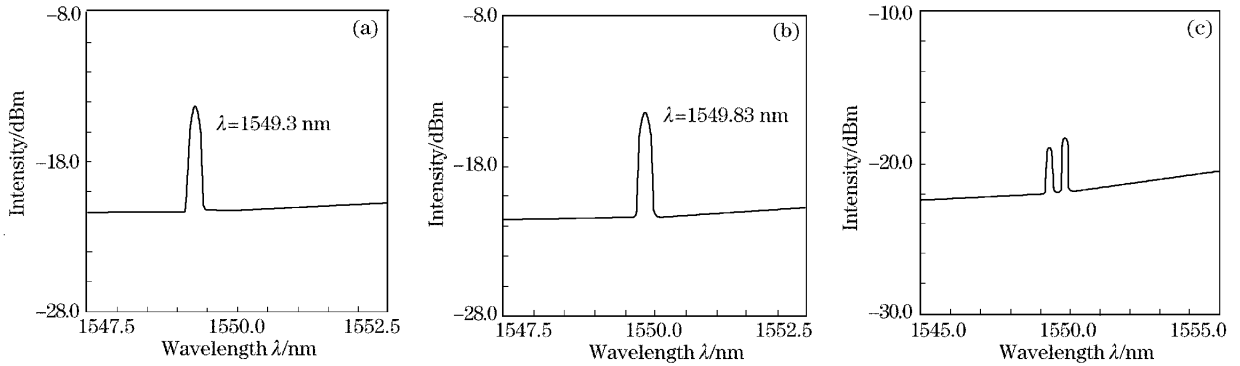


图4 调节偏振控制器得到的单(a),(b)和双(c)控制激光

Fig. 4 Single (a), (b) and two (c) control lasers obtained by tuning the polarization controller

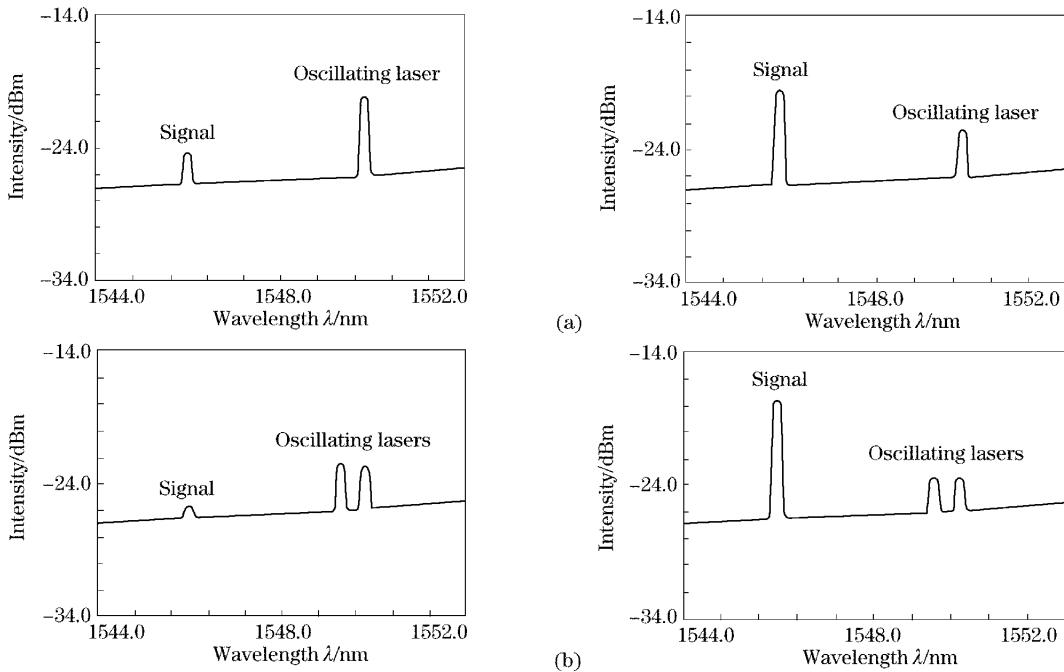


图5 控制激光钳制信号光增益的性能图。(a) 单激光控制,(b) 双激光控制

Fig. 5 Gain-clamping performances of signal and control lasers. (a) Single laser clamping, (b) dual laser clamping

当输入信号的功率为-30 dBm,增益控制的掺铒光纤放大器在单和双激光控制下的静态特性如图6所示。其中,■G1,□NF1是1549.3 nm处单激光控制时掺铒光纤放大器的增益和噪声系数,▲G2,△NF2是1549.83 nm处单激光控制时掺铒光纤放大器的增益和噪声系数,▼G3,▽NF3是在1549.3 nm和1549.83 nm处双激光控制时掺铒光纤放大器的增益和噪声系数。在1530~1570 nm

范围内,单和双激光控制的掺铒光纤放大器的平均噪声系数大约都是9 dB。然而在同样的条件下,双激光控制的掺铒光纤放大器的增益比单激光控制的增益相对要低,出现这种现象的原因是在双激光和信号光存在共同消耗铒粒子的竞争。当调节光学衰减器,环形腔的损耗增加,控制激光的强度相对减弱,于是在单激光控制的掺铒光纤放大器中信号光能消耗掺铒光纤中更多的粒子,增益得到了提高。

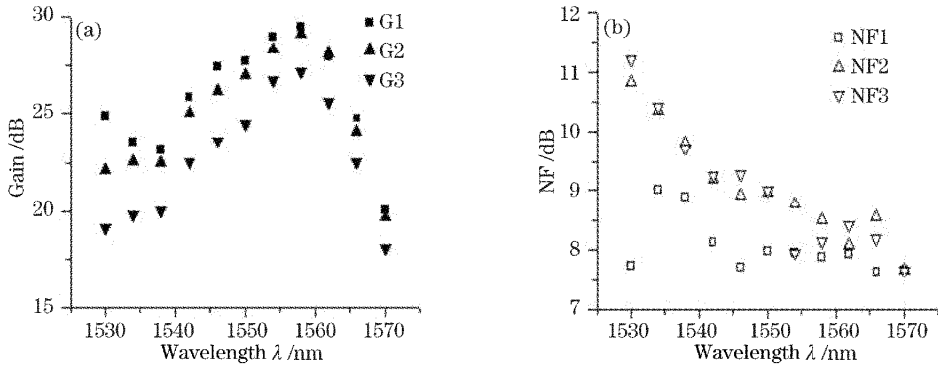


图 6 单和双激光控制掺铒光纤放大器的增益(a)和噪声系数(b)

Fig. 6 Gain(a)and noise figure(b)of single- and dual- laser controlled erbium-doped fiber amplifier

当输入信号的功率动态变化时,单和双激光控制的掺铒光纤放大器的增益和噪声系数如图 7 所示,其中■G1,□NF1 是 1549.3nm 处单激光控制时掺铒光纤放大器的增益和噪声系数,▲G2,△NF2 是 1549.83 nm 处单激光控制时掺铒光纤放大器的增益和噪声系数,▼ G3,▽ NF3 是在 1549.3 nm 和 1549.83 nm 处双激光控制时掺铒光纤放大器的增益和噪声系数。波长为 1546 nm,输入功率在 -40~-15 dBm 变化的信号光输入光自动增益控制-掺铒光纤放大器系统,双激光控制的掺铒光纤放大器的增益变化非常小,保持在 0.69 dB,但是其它

两波长处的单激光控制的掺铒光纤放大器的增益变化分别约为 5.7 dB 和 4.2 dB。而双激光控制的掺铒光纤放大器的噪声系数波动在 1.51 dB 范围内,其它两波长处的单激光控制的掺铒光纤放大器的噪声系数波动分别为 5.98 dB 和 4.06 dB。总之,双激光控制的掺铒光纤放大器的平均增益和噪声系数分别为 22.22 dB 和 8.69 dB,而在 1549.3 nm 处的单激光控制的掺铒光纤放大器的平均增益和噪声系数分别为 22.46 dB 和 7.9 dB;在 1549.83 nm 处单激光控制的掺铒光纤放大器的平均增益和噪声系数分别为 21.87 dB 和 8.58 dB。

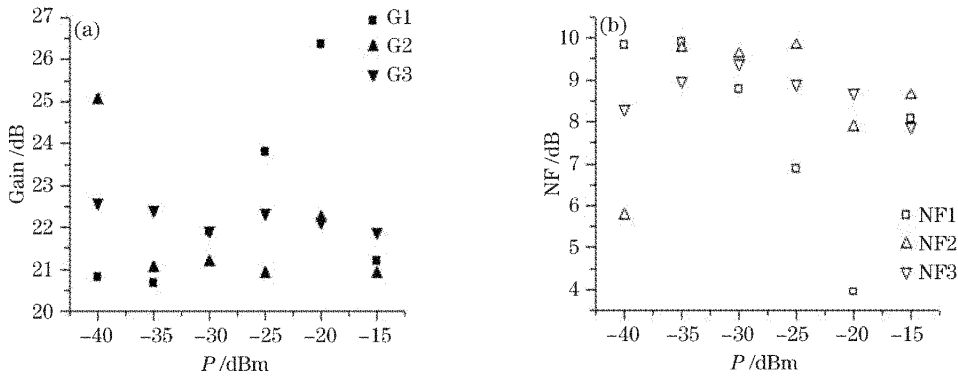


图 7 输入功率动态变化时,单和双激光控制掺铒光纤放大器的增益(a)和噪声系数(b)

Fig. 7 Gain (a) and noise figure (b) with dynamically varying input power in single and dual laser-controlled erbium-doped fiber amplifier

综上所述,单、双激光增益控制的掺铒光纤放大器对于小信号输入时,单激光增益控制的掺铒光纤放大器的平均增益比较大,而双激光增益控制的掺铒光纤放大器的平均增益相对较小一点,当系统需要较高的增益时,可方便地切换到单激光控制模式。虽然双控制激光间隔很小,但是双激光增益控制的掺铒光纤放大器增益波动和噪声系数波动分别仅为 0.69 dB 和 1.51 dB,而单激光增益控制的掺铒光纤放大器的增益波动和噪声系数波动都为双激光增益

控制掺铒光纤放大器的几倍,因此利用高双折射光纤光栅作为振荡源的双激光控制掺铒光纤放大器在稳定性方面比单激光控制的掺铒光纤放大器有着明显的优势,以微小的增益代价来获得更稳定双激光控制的掺铒光纤放大器系统。

4 结 论

文章中提出了一种增益控制掺铒光纤放大器的新颖结构,控制激光可在单激光和双激光控制之间

随意切换。这种设计的新颖之处是利用高双折射光纤布拉格光栅作为双激光的振荡源,和利用偏振控制器来改变内部的偏振损耗。通过调节偏振控制器,单激光和双激光控制可以随意切换,这样单激光控制的掺铒光纤放大器系统有较高的增益,双激光控制的掺铒光纤放大器系统稳定性较强,根据不同的要求随意切换两种模式。因为双控制激光是正交偏振的,所以双激光控制的掺铒光纤放大器系统比其它单和双波长控制的掺铒光纤放大器系统更加稳定。双激光控制的掺铒光纤放大器的平均增益和噪声系数分别约为 22.22 dB 和 8.69 dB,而且它们的漂移被分别钳制在 0.69 dB 和 1.51 dB 范围内,有效地增强了自动增益控制掺铒光纤放大器系统的稳定性。

参 考 文 献

- 1 A. K. Srivastava, Y. Sun, J. L. Zyskind *et al.*. EDFA transient response to channel loss in WDM transmission system [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1997, **9**(3): 386~388
- 2 Ki-Woon Na, Joo-Taek Choi, Woo-Jin Lee *et al.*. A cost-effective gain control using pump modulation for erbium-doped fiber amplifiers [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2000, **12**(4): 383~385
- 3 Miroslav Karasek, Alberto Bononi, Leslie A. Rusch *et al.*. Gain stabilization in gain clamped EDFA cascades fed by WDM burst-mode packet traffic[J]. *J. Lightwave Technol.*, 2000, **18**(3): 308~313
- 4 Yongqian Liu, Mark F. Krol. Transient gain control in EDFA's by dual-cavity optical automatic gain control[J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1999, **11**(11): 1381~1383
- 5 C. C. Wang, G. J. Cowle. Optical gain control of erbium-doped fiber amplifiers with a saturable absorber[J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2000, **12**(5): 483~485
- 6 Chunliu Zhao, Baiou Guan, *et al.*. Performance of optical automatic gain control EDFA with dual-oscillating control lasers [J]. *Opt. Commun.*, 2003, **224**: 281~287
- 7 Zhao Chunliu, Guan Baiou, Dong Xinyong *et al.*. A novel gain control EDFA by dual-control lasers[J]. *Acta Optica Sinica*, 2002, **22**(11): 1331~1335 (in Chinese)
赵春柳,关柏鸥,董新永等. 新型双波长激光增益控制掺铒光纤放大器[J]. *光学学报*, 2002, **22**(11): 1331~1335
- 8 Zhao Chunliu, Guan Baiou, Dong Xinyong *et al.*. Optical automatic dual-laser gain control EDFA by using double pairs of FBGs[J]. *Acta Optica Sinica*, 2003, **23**(4): 417~421 (in Chinese)
赵春柳,关柏鸥,董新永等. 利用光纤光栅对实现双波长增益控制掺铒光纤放大器特性的实验研究[J]. *光学学报*, 2003, **23**(4): 417~421
- 9 Feng Xinhuan, Liu Yange, Sun Lei *et al.*. Switchable dual-wavelength mode-locked Er-doped fibre laser using a Bragg grating in polarization-maintaining fiber[J]. *Chin. Phys. Lett.*, 2004, **21**(3): 500~502
- 10 Zhang Hao, Yu Ling, Yang Shiquan *et al.*. A novel structure L-band erbium-doped fiber laser[J]. *Acta Optica Sinica*, 2004, **24**(7): 929~931
张昊,于岭,杨石泉等. 一种结构新颖的 L 波段掺铒光纤激光器[J]. *光学学报*, 2004, **24**(7): 929~931