

文章编号: 1001-5078 (2006) 05-0345-03

增益钳制掺铒光纤放大器特性研究

曹 斌, 马孝江, 张志新

(大连理工大学 精密与特种加工教育部重点实验室, 辽宁 大连 116023)

摘 要:报道了一种新型基于环形激光腔的增益钳制掺铒光纤放大器。得到了较好的增益钳制效果和增益平坦度, 利用 980nm 半导体激光器泵浦 12m 长掺铒光纤形成激光增益, 观测到 30nm 增益带宽。通过反馈 1520nm 激光, 在可变衰减器不同值测量了输入信号从 -40 ~ 10dBm 的增益, 其小信号增益被钳制在 16dB。可为 40 个波分复用 (WDM) 信道波长提供增益钳制及平坦的放大功能。

关键词:掺铒光纤放大器; 增益谱; 增益钳制; 可变光衰减器

中图分类号: TN253 **文献标识码:** A

The Characteristic Investigation of Gain-clamped EDFA

CAO Bin, MA Xiao-jiang, ZHANG Zhi-xin

(Key Laboratory for Precision and Non-traditional Machining Technology of Ministry of Education, Dalian University of Technology, Dalian 116023, China)

Abstract: A novel gain-clamped erbium doped fiber amplifier (EDFA) based on ring erbium-doped fiber laser is demonstrated. This new design provides a good gain clamping as well as a gain flattening without any gain flattening filter. 12m long low erbium doped fiber was used as gain medium pumped by 980nm laser diode (LD). The 30nm flattened amplification bandwidth was obtained with forward pumping. By means of the 1520nm feedback laser the gain was clamped at 16dB. The gain characteristics against input signal power for both open-ring and the gain-clamped systems with different VOA losses were experimented, when the input power level increased from -40dBm to 10dBm, the signal gain was performed stabilization. The gain ripple was less than 0.1dB from input signal power -40dBm to 0dBm by settling the VOA at 2dB where the amplifier had a flatter gain spectrum. Small signal gain of 20dB was achieved at 1550nm with input power of -40dBm and the saturated output power could reach to 16dBm. Experimental results show that the signal gain was clamped and this gain-clamped erbium fiber amplifier could support a 40 channel WDM system.

Key words: erbium-doped fiber amplifier (EDFA); gain spectrum; gain clamping; variable optical attenuator (VOA)

1 引言

波分复用 (WDM) 技术的日趋完善和实用化, 使大容量高速率的光传输网得以实现, 也是实现全光网络的主要技术。掺铒光纤放大器 (EDFA) 是 WDM 全光通信系统的关键器件, 与半导体光放大器相比, 掺铒光纤放大器有增益高、插入损耗低、串扰低、噪声低等优点, 目前已成为国内外研发的热点技术之一^[1,2]。

在 1530 ~ 1560nm 波段上, EDFA 可以放大 WDM 传输系统各信道波长的功率。放大器增益取决于平

均输入信号功率水平, 会导致多波长网络中的信号功率不稳定, 这是由于需要放大的 WDM 平均信号功率随着信道上下话路功能及网络结构而变化^[3,4]。这就需要随时自动地控制放大器的增益, 使其保持在一定水平, 在放大器里面施加一个特定波长的激光, 从而能够有效地钳制其增益的变化。国内外研究人员已报道了多种全光方式的增益钳制技术^[5,6]。

作者简介: 曹 斌 (1974 -), 男, 助理讲师, 在读硕士研究生。
E-mail: caoboyin@126.com
收稿日期: 2005-10-27

本文设计研制了一种利用 EDFA 功率反馈激光钳制其增益的结构。得到了有效的增益控制效果,利用 980nm 半导体激光器泵浦 12m 长掺铒光纤形成激光增益,观测到 30nm 增益带宽。通过反馈 1520nm 激光,在可变光衰减器 (VOA) 不同值测量了输入信号从 -40 ~ 10dBm 的增益,其小信号增益被钳制在 16dB。可为 40 个 WDM 信道波长提供增益钳制及平坦的放大功能。

2 结 构

图 1 为全光纤型增益钳制掺铒光纤放大器设计结构。一个作为增益钳制的环形激光腔通过环形器 (circulator)、光纤布拉格光栅 (FBG) 选择特定波长反射,经反馈通过耦合器 (coupler) 与输入信号合波,此波长光不断增益,从而形成特定波长 (FBG 反射波长) 激光进入放大器结构中,可以对放大器增益进行钳制。光纤光栅反射波长,即钳制激光波长 1520nm,从波分复用器 1550nm 端口进入 EDFA,VOA 接在反馈环中调节激光腔内的损耗控制放大器增益的水平。

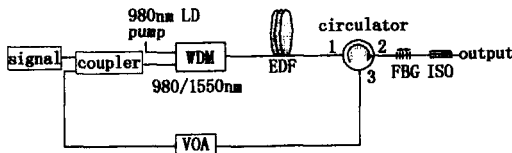


图 1 增益钳制掺铒光纤放大器结构

使用 12m 的掺铒光纤作为增益介质,其 Er^{3+} 离子掺杂浓度为 600ppm,数值孔径 0.24,对 980nm 和 1550nm 的模场直径分别为 3.5 μm 和 5.9 μm ,截止波长 948nm,1531nm 峰值吸收 8.61dB/m,979nm 峰值吸收 6.0dB/m。采用 980nm 半导体激光器正向泵浦,其泵浦功率最大值 130mW,经 980/1550nm 的 WDM 进入掺铒光纤可以提高耦合效率。WDM 在 980nm 的插入损耗为 0.07dB,隔离度 30.8dB;在 1550nm 分别为 0.04dB 和 27.3dB;回波损耗为 50dB。光纤隔离器 (ISO) 可防止回波反射,提高信噪比,其隔离度大于 50dB,回波损耗大于 60dB,插入损耗 0.38dB,工作带宽大于 40nm。

3 实 验

980nm 半导体激光器稳定性优于 5%。使用 Anritsu MS9710B 光谱分析仪 (工作范围 0.6 ~ 1.75 μm) 观测到掺铒光纤自发辐射 (ASE) 光谱如图 2 所示,其峰值波长 1531nm,峰值功率 -12.36dBm。采用 NOYES OFM4 光功率计 (测量范围 25 ~ -50dBm) 测量信号的输入输出激光功率,图 3 为在 VOA 取不同值时输入功率从 -40 ~ 10dBm 的增益特性。从图中可以看出其增益基本稳定,尤其是在低的腔内

损耗下增益钳制范围更大,但其增益降低。实验结果表明,其腔内损耗的大小应满足其足够的增益及放大器增益钳制的效果。VOA 为 2dB 时,其增益被钳制在 16dB,输入信号范围可以从 -40 ~ 0dBm。图中 VOA 值符号: 0dB, 1dB, 2dB, 4.5dB, 6dB, 开环。

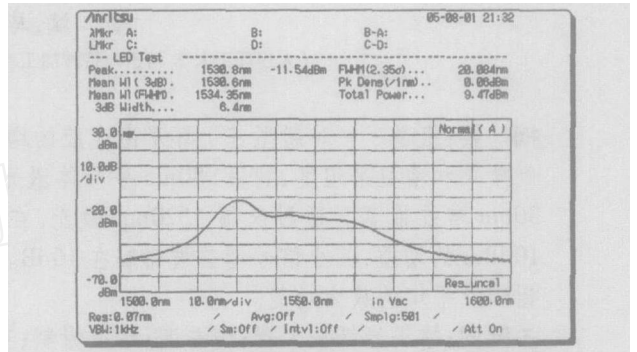


图 2 掺铒光纤的 ASE 光谱

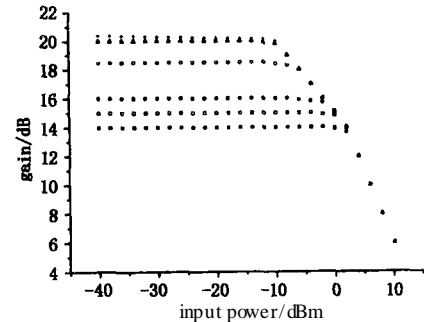


图 3 不同 VOA 损耗下增益与输入功率关系

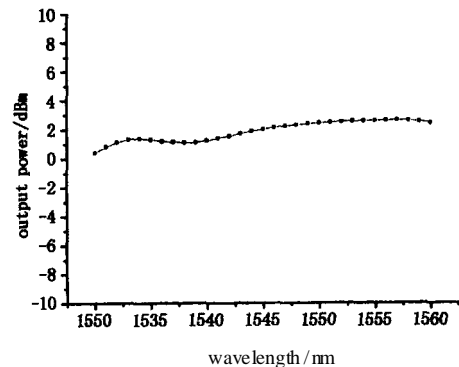


图 4 输出功率与波长的关系 (VOA = 2dB)



图 5 输出功率与信道波长 (0.1mW) 的关系 (VOA = 2dB)

通过优化结构参数及调整泵浦功率,提高了增益平坦性。图 4 为输出功率与波长关系曲线,VOA 调整值为 2dB,其 3dB 平坦区达 30nm (1530 ~ 1560nm)。从图中可以看出其可以为 40 个以上的 WDM 信道波长提供增益钳制放大。VOA 值为 2dB 时,不同泵浦功率下输入 0.1mW 的信号,放大器输出功率曲线如图 5 所示。测量了 4 个不同波长的信号,其功率输出平坦且随泵浦功率的增加而增加。

4 结 论

设计了一种基于环形腔激光器的增益钳制掺铒光纤放大器,利用光纤布拉格光栅反射 1520nm 的光反馈而形成激光,其可以对 1530 ~ 1560nm 波段信号光的增益进行有效的钳制。1550nm 小信号 (-40dBm)增益 20dB,其输出功率可达 16dBm。测量了放大器在不同腔内损耗条件下从 -40 ~ 10dBm 的信号增益,其增益稳定。实验结果说明这种光纤放大器可以为 40 个以上的 WDM 信道波长提供稳定的增益。

(上接第 337 页)

4.3 隐身手段对发现、识别与认清概率的影响

假设目标(舰艇)长 $L=120\text{m}$,高 $H=10\text{m}$,红外探测系统 MTRD 为 1.4,在探测概率为 90% 条件下, K 取 1.5。由于背景与目标的温差受许多复杂因素的影响,易随外界环境的变化而变化,所以假设在没有采用隐身手段时,目标与背景最大温差 T 为 10,当采用隐身手段后,目标与背景最大温差 T 差分别降为 8、6 和 4。计算得出在各温差条件下探测系统对目标的发现、识别与认清概率,其具体值如表 3 所示。

表 3 目标在各温差条件下的发现、识别与认清概率

Table 3 the probabilities of the discovery, distinction and recognition of the target at different temperature differences

T \ P	发现概率	识别概率	认清概率
10	1.0	0.9	0.4
8	1.0	0.7	0.2
6	0.9	0.4	0.1
4	0.3	0.1	0.02

5 结 论

(1) 红外系统的最大作用距离随目标波段辐射强度的增大而递增,但递增的趋势逐渐减缓。当目

参考文献:

- [1] SM Harun, H Ahmad L-band erbium-doped fiber amplifier with clamped and flattened-gain using FBG[J]. Electronics Letters, 2003, 39: 962 - 964.
- [2] S Selvakennedy, P Poopalan, M A Mahdi, et al Gain-clamped erbium-doped fiber amplifier for wavelength division multiplexed systems [J]. Journal of Modern Optics, 2000, 47(9): 1599 - 1605.
- [3] J F Massicott, S D Willson, R Wyatt, et al 1480nm pumped erbium doped fiber amplifier with all automatic gain control[J]. Electronics Letters, 1994, 30: 962 - 964.
- [4] Kyo Inoue Gain-Clamped Fiber Amplifier with a Loop Mirror Configuration[J]. IEEE Photonics Technology Letters, 1999, 11: 533 - 535.
- [5] Zimgibl M. Gain control in erbium-doped fibre amplifiers by an all-optical feedback loop [J]. Electron Lett, 1991, 27: 560 - 561.
- [6] Delevaque E, George T, Bayon J F Gain control in erbium-doped fibre amplifiers by lasing at 1480nm with photoinduced Bragg gratings written on fibre ends[J]. Electron Lett, 1993, 29: 1112 - 1113.

标的波段辐射强度达到 6000W/sr 时,对于上述指标的红外系统其最大作用距离可达到 30km 左右;

(2) 各种隐身手段对红外探测系统的最大作用距离有非常明显的影响。特别是引射和烟囱喷水技术使红外系统的作用距离降低了 73.4%。如果合理地综合运用多种隐身手段,还可以进一步缩短红外系统的最大作用距离,最大限度地降低红外制导武器对目标的空中威胁;

(3) 通过分析,在各温差条件下探测系统对目标(舰艇)的发现、识别与认清概率可知,当目标与背景的温差 T 小于 4 时,目标具有很好的隐身效果。这可作为评价一种隐身手段效能的依据。

参考文献:

- [1] 侯振宁. 舰艇的红外隐身技术 [J]. 舰船电子对抗, 2001(6): 24 - 26.
- [2] 王宏. 红外、雷达隐身在舰船上的应用 [J]. 舰船电子工程, 2004(5): 111 - 114.
- [3] 俞佐平,等. 传热学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1995.
- [4] 杨宜禾,等. 红外系统 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1995, 145 - 149.
- [5] 周刚. 红外成像系统对目标的发现识别概率 [J]. 红外技术, 2001, (3): 16 - 18.
- [6] 蔡志刚,等. 水幕流场特性诊断与隔热性能的实验研究 [J]. 火灾科学, 2004(4): 224 - 230.