



一种新型低噪声并联 C+L 波段掺铒光纤放大器

张航东¹, 詹黎²

(1. 浙江邮电职业技术学院, 浙江 绍兴 312016;

2. 上海交通大学物理系区域光纤通信网与新型光通信系统国家重点实验室, 上海 200240)

摘要: 提出并论证了一种新的低噪声系数 C+L 波段掺铒光纤放大器的结构。在该结构中, 利用一个前置放大器以减少噪声系数, 并利用一个带有光纤布拉格光栅的双通结构以增加 L 波段增益, 同时减少噪声系数。实验结果表明, 新宽带放大器的噪声系数减小了约 2 dB, 并且在 1 525~1 605 nm 波长范围内, 增益提高到了 25 dB 以上。

关键词: 掺铒光纤放大器; C 波段; L 波段; 宽带

中图分类号: TN253

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2017133

Low noise figure C+L-band erbium-doped fiber amplifier

ZHANG Hangdong¹, ZHAN Li²

1. Zhejiang Post and Telecommunication College, Shaoxing 312016, China

2. State Key Lab of Advanced Optical Communication Systems and Networks, Department of Physics, Shanghai JiaoTong University, Shanghai 200240, China

Abstract: A new configuration of the low noise figure C+L-band erbium-doped fiber amplifier was proposed and demonstrated. In the proposed configuration, a preamplifier was used to reduce the noise figure, and an improved double-pass configuration with a fiber bragg grating was employed to enhance the L-band gain and while to reduce the noise figure. The experiment results demonstrate that the noise figure in the new broad-band amplifier was improved by -2 dB, and the gain was enhanced up to above 25 dB over the region from 1 525~1 605 nm.

Key words: erbium-doped fiber amplifier, C-band, L-band, wideband

1 引言

为了满足通信容量的要求, 宽带掺铒光纤放大器 (erbium-doped fiber amplifier, EDFA) 已经成为了密集波分复用 (dense wavelength division multiplexing, DWDM) 系统中的一项关键技术之

一。虽然拉曼光纤放大器因其具有更大的带宽, 已取得了长足的进步和发展。然而掺铒光纤放大器因其实用性、高可靠性及低成本等因素, 仍是光通信系统中的主流光纤放大器。拓展其放大带宽、优化其噪声特性仍是 EDFA 研发的重点, EDFA 通过合适的并行结构设计, 能实现 C 波段

收稿日期: 2017-03-13; 修回日期: 2017-05-08

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (No.61178014)

Foundation Item: The National Natural Science Foundation of China (No.61178014)

和 L 波段的放大, 可以得到高达 80 nm 的放大器带宽, 显著地提高了 DWDM 系统的传输能力。

虽然有许多 C+L 波段掺铒光纤放大器的优化结构, 但其基本结构只有两种, 即串联结构和并联结构。然而, 当信号通过两段掺铒光纤间的截面时, 串联结构的掺铒光纤放大器不可避免地提高了 C 波段和 L 波段的通道之间的串扰。相反, 并联掺铒光纤放大器可以无串扰地独立放大 C 波段和 L 波段信号, 并在每个并联分支保证增益控制和增益平坦。对于 L 波段的掺铒光纤放大器而言, 因为远离铒离子的吸收带, 其功率转换效率太低, 以至于无法获得较高的增益。因此, 已经有数种提高 L 波段增益的方法被提出, 例如利用多余的 C 波段放大自发辐射 (amplifier spontaneous emission, ASE), 采用双通结构和带光纤光栅的反射式光纤放大器。

本文提出并证实了一种新的低噪声并联 C+L 波段掺铒光纤放大器, 其中包含了一个用于降低噪声系数的前置放大器。新的放大器利用两个 C/L 波段耦合器进行分离和连接 C 和 L 波段的信号。在 L 波段放大器中, 采用一个带有光纤布拉格光栅 (FBG) 的双通结构, 以提高 L 波段增益, 同时降低噪声系数。实验证明, 新宽带放大器的噪声系数减小了约 2 dB, 且在 1 525~1 605 nm 波长范围内其增益提高到了 25 dB 以上。

2 实验环境

图 1 展示了一种新的 C+L 宽带掺铒光纤放大器的实验结构。该掺铒光纤放大器的结构主要分为两部分。第一部分是一个前置放大器, 其中, 3 m 长、铒离子浓度为 240 ppm 的掺铒光纤作为激活介质, 一个功率为 30 mW 的 980 nm 激光二极管作为泵浦。这种结构能减少噪声系数, 并略微提高增益。第二部分是一个并联的 C + L 波段掺铒光纤放大器。用于 C 波段和 L 波段的掺铒光纤长度分别为 12 m 和 70 m。可调节的 980 nm 泵浦对 C 波段和 L 波段掺

铒光纤放大器的使用功率分别为 95 mW 和 75 mW。C 波段掺铒光纤放大器是一个标准的放大器, 而 L 波段掺铒光纤放大器采用带有光纤布拉格光栅的双通结构以提高增益。在 1 533.33 nm 的中心波长处, 光纤布拉格光栅反射了一部分放大自发辐射至 L 波段掺铒光纤放大器并成为第二个泵浦。这两个光环行器 (optical circulator, OC) 使 L 波段的信号两次通过掺铒光纤然后输出。两个 C/L 宽带耦合器用来连接第一部分、第二部分和一台光谱分析仪 (optical multi-channel analyzer, OSA)。C/L 宽带耦合器、光环行器和 980 nm/1 550 nm 波分复用器的插入损耗分别为 2.0 dB、1.0 dB、1.0 dB。

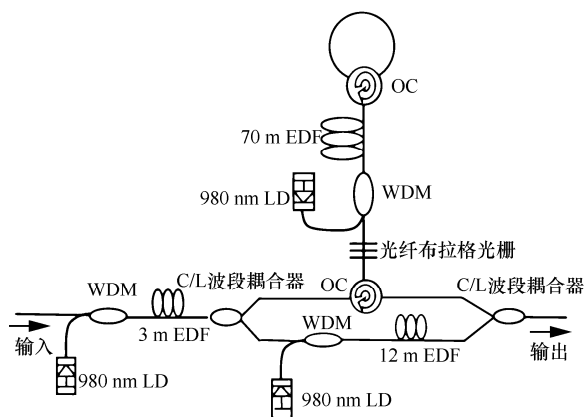


图 1 一个新的 C+L 宽带掺铒光纤放大器的实验结构

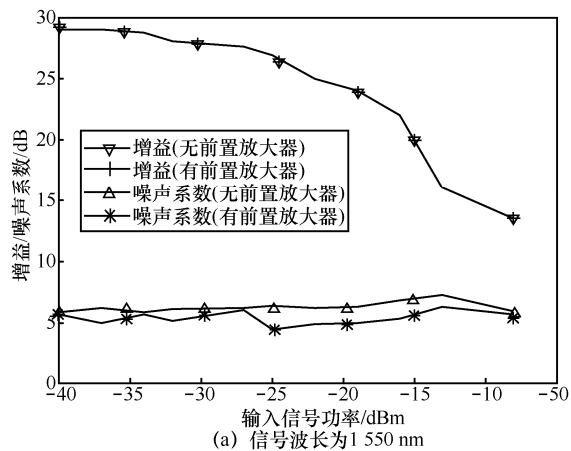
3 实验仿真与分析

在实验中, 比较了在并联 C+L 波段掺铒光纤放大器有、无前置放大器两种情况下噪声系数的区别。分别测量了两种情况下的增益和噪声系数, 结果表明前置放大器能有效地降低噪声系数。为了比较在相同增益条件下的噪声系数变化, 调整了无前置放大器情况下的 C 波段和 L 波段的泵浦功率, 使得其增益等于有前置放大器的情况。

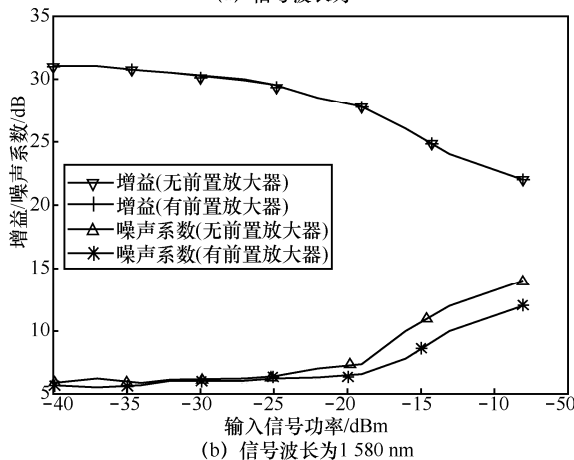
图 2 展示了在有、无前置放大器两种情况下, C+L 波段掺铒光纤放大器在多种输入信号功率下的增益和噪声系数, 其中图 2 (a) 的输入信号波长为 1 550 nm, 图 2 (b) 的输入信号波长为 1 580 nm。测量了输入信号功率从 -40~-10 dBm 的增益和噪



声系数。从图2可以看出,前置放大器可以为1550 nm波长的信号减少噪声0.5~2.0 dB,为1580 nm波长的信号减少噪声0.4~1.8 dB,该级联的掺铒光纤放大器主要由第一个光纤放大器的噪声系数决定,因此确定了第一个掺铒光纤放大器的低噪声系数,就可以降低其输出噪声系数。对1550 nm波长和1580 nm波长情况下的小信号而言,噪声系数大约为5 dB。因此,C波段和L波段的噪声系数是由掺铒光纤放大器的前半部分所决定的,该部分能够实现整个掺铒光纤放大器的低噪声系数。此外,从图2(b)可以看出,在泵浦功率为75 mW情况下,较小信号通过掺铒光纤时,1580 nm波长的信号增益超过了30 dB。因为带有光纤布拉格光栅的双通结构并显著提高了信号增益,L波段的增益效率也显著提高。



(a) 信号波长为1550 nm



(b) 信号波长为1580 nm

图2 有、无前置放大器两种情况下C+L波段掺铒光纤放大器在多种输入信号功率下的增益和噪声系数

图3展示了在输入信号为-30 dBm时不同信号波长下增益和噪声系数的关系。由于在新的掺铒光纤放大器中没有任何增益平坦器,图3中表现出不平坦的振幅。如果在C波段使用增益平坦器,且在L波段改变泵浦功率和掺铒光纤的长度,则这个结构可以得到放大的、平坦的宽带,并在1525~1590 nm实现了大于25 dB的增益。不过,因C/L波段边带耦合器的分光作用,1565 nm波长处存在一个“死区”,不宜用作通信信道。C/L耦合器的C部分和L部分之间巨大的损耗导致了较小的增益和较大的噪声系数。从图3可以看出,无前置放大器情况下1565 nm波长的噪声系数为8 dB,因此,前置放大器将噪声系数减小了2 dB。显然,前置放大器明显提高了C+L波段放大器的噪声系数。

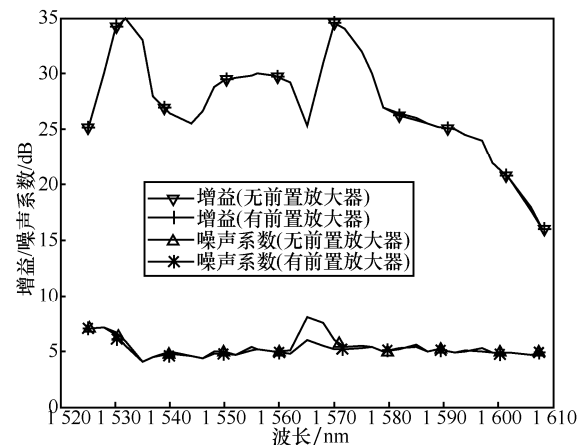


图3 输入信号为-30 dBm时不同信号波长下增益和噪声系数的关系

图4展示了当输入功率为-30 dBm时输入信号为1550 nm和1575 nm不带前半部分的宽带掺铒光纤放大器的输出光谱。当输出功率分别为-2.18 dBm和-2.86 dBm时,其增益分别为27.82 dB和27.14 dB。实验中还测量了当只有C波段或L波段输入信号时的结果,其增益的结果与C+L波段输入信号都存在时的结果是一样的。这就证明了C波段和L波段的信号输入互不影响,而且在并联C+L波段掺铒光纤放大器的每个分支被单独放大。

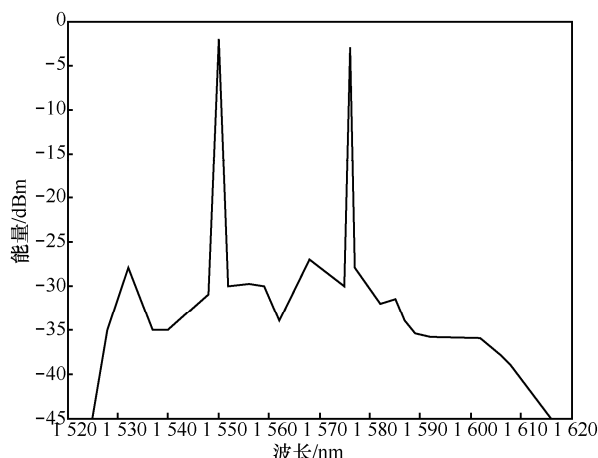


图4 C+L波段信号的宽带掺铒光纤放大器的输出光谱

4 结束语

本文提出了一种新结构的低噪声并联C+L波段掺铒光纤放大器。该C+L波段掺铒光纤放大器防止了C波段或L波段信号之间的串扰，不同的分支结构使各分支实现放大和噪声的最优化输出。其中，一个带有光纤布拉格光栅的双通结构提高了L波段的增益，并降低了L波段的噪声系数。同时，增加了一个前置放大器用以保持较低的噪声系数。对比无前置放大器的结果，噪声系数保持在5 dB左右，减小了约2 dB。这一噪声系数已接近EDFA噪声的量子极限，是当前宽带EDFA的最佳水平之一。从1 525~1 605 nm波长范围内，增益高于25 dB。

参考文献:

- [1] 赵梓森. 中国光纤通信发展的回顾[J]. 电信科学, 2016, 32(5): 5-9.
ZHAO Z S. Review of the development of China's optical fiber communication[J]. Telecommunications Science, 2016, 32(5): 5-9.
- [2] 王启明, 赵玲娟, 朱洪亮, 等. 光纤通信有源器件的发展现状[J]. 电信科学, 2016, 32(5): 10-23.
WANG Q M, ZHAO L J, ZHU H L, et al. Progress in active devices for optical fiber communication[J]. Telecommunications Science, 2016, 32(5): 10-23.
- [3] HWANG S, SONG K W, SONG K U, et al. Comparative high

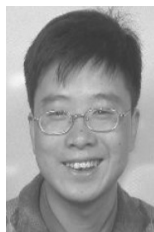
power conversion efficiency of C-plus L-band EDFA[J]. Electronics Letters, 2001, 37(25): 1539-1541.

- [4] 曹毅, 魏淮, 雷飞鹏, 等. 光网络中掺铒光纤放大器增益平坦性研究[J]. 光通信技术, 2011, 35(1): 24-27.
CAO Y, WEI H, LEI F P, et al. Study on gain flatness of erbium doped fiber amplifier in optical network[J]. Optical Communication Technology, 2011, 35(1): 24-27.
- [5] 吴冰冰, 赵文玉, 张海懿. 光子集成技术及产业发展研究[J]. 电信科学, 2015, 31(1): 122-127.
WU B B, ZHAO W Y, ZHANG H Y. Research on technology and industry developments of photonic integrated circuits[J]. Telecommunications Science, 2015, 31(1): 122-127.
- [6] 张珂卫, 赵卫, 谢小平, 等. 基于掺铒光纤的高增益低噪声光放大器实验研究[J]. 光学学报, 2013, 33(5): 33-37.
ZHANG K W, ZHAO W, XIE X P, et al. Experimental study of high gain and low noise optical amplifier based on erbium doped fiber[J]. Journal of Optics, 2013, 33(5): 33-37.
- [7] YI L L, ZHAN L, JI J H, et al. Improvement of gain and noise figure in double-pass L-band EDFA by incorporating a fiber Bragg grating[J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2004, 16(4): 1005-1007.
- [8] CINGÖZ A, YOST D C, ALLISON T K, et al. Broadband phase noise suppression in a Yb-fiber frequency comb[J]. Optics Letters, 2011, 36(5): 743-745.
- [9] JIANG Q, LIU X, WANG Q, et al. Dynamical gain control in the serial structure C+L wide-band EDFA[J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2004, 16(1): 87-89.
- [10] PREDEHL K, SCHNATZ H. A 920-kilometer optical fiber link for frequency metrology at the 19th decimal place[J]. Science, 2012, 336(6080): 441.

[作者简介]



张航东（1969—），男，浙江邮电职业技术学院副院长、副教授，上海交通大学访问学者，主要从事信号处理及光纤通信系统方面的研究工作。



詹黎（1969—），男，上海交通大学物理系教授、博士生导师，主要从事光纤光学和光纤激光技术、激光物理和纳米结构金属薄膜中光学效应方面的研究工作。