

文章编号 : 0258-7025(2001)12-1117-03

掺铒光纤放大器的优化设计*

陈冠三 罗 聪

(中山大学超快速激光光谱学国家重点实验室/电子与通信工程系 广州 510275)

提要 讨论了在双级掺铒光纤放大器(EDFA)设计中,为了使放大器有高增益、低噪声和在宽带内有很好的增益平坦性能,提出了一种新的双级掺铒光纤放大器的结构,更好地提高了光纤放大器的综合特性。

关键词 掺铒光纤放大器 增益 噪声 增益平坦

中图分类号 TN 929.11 **文献标识码** A

Optimal Design of Er-doped Fiber-optic Amplifiers

CHEN Guan-san LUO Cong

(State Key Laboratory of Ultrafast Laser Spectroscopy/ Department of Electronics and Communications Engineering, Zhongshan University, Guangzhou, 510275)

Abstract The performance of high gain, lower noise figure and gain flatness is investigated in design of a two-stage erbium-doped fiber amplifier(EDFA). A new construction of EDFA is proposed.

Key words EDFA, gain, noise figure, gain flatness

1 引 言

经过近 10 年的发展,掺铒光纤放大技术已经趋于成熟,被广泛地应用到光纤通信系统中,并且正在进一步向 L 带的应用^[1]以及和拉曼光纤放大器结合的应用发展^[2]。但是,光通信技术的迅速发展,对 C 带饱和增益输出的掺铒光纤放大器的综合性能提出了更高的要求,市场竞争也越来越激烈,同时,性能各异的掺铒光纤的不断出现,对综合性能优越的掺铒光纤的设计和制造提供了更多的灵活性。如何设计性能优越、价格合理的 C 带饱和增益输出的掺铒光纤放大器,仍然值得进一步研究。

本文利用分析掺铒光纤的 Giles 模型^[3]理论,结合铒光纤模场的 Myslinski 高斯近似^[4]建立的数值分析程序,模拟比较了各种光纤放大器的特性,提出了一种能够进一步改善双级光纤放大器综合特性(高增益、低噪声和在宽带内有很好的增益平坦特性)的新结构。

2 系统结构设计

在性能价格比优越的双级掺铒光纤放大器的设计中,主要必须考虑的有两个问题:1)掺铒光纤的合理选择,包括不同类型掺铒光纤的合理组合和光纤长度的确定。2)抽运激光器功率的有效利用。例如, Lucent Technologies 公司根据不同的用途,可以提供不同特性的掺铒光纤,有 HE980, MP980, R37003, LP980 和 HP980 等各种不同类型的掺铒光纤。

掺铒光纤的选择:由于上述各种掺铒光纤的特性和用途各有不同,根据我们的设计要求,选用了 HE980 和 MP980 掺铒光纤的组合来构造光纤放大器,以便设计高增益、低噪声和在宽带内有很好的增益平坦的双级饱和增益输出的光纤放大器。

系统结构的确定:在典型的双抽运双级光纤放大器的结构中,为了使放大器有良好的噪声和增益特性,两级中间必须插入一个光学隔离器,实际使用的光学隔离器可以很好地传输 1550 nm 波长的光信号,但是,对于 980 nm 的抽运光波损耗很大,几乎完全被衰减掉,因此,这种结构不能很好地利用前向抽运的功率去抽运第二级掺铒光纤。为了有效地利用抽运光功率,已见报道的掺铒光纤放大器的结

* 广东省自然科学基金(970138)资助项目。

收稿日期:2000-10-13;收到修改稿日期:2001-01-02

构有所改进 结构如图 1(a)所示 这种结构与典型结构相比,可以充分利用前向抽运功率 极大地改善掺铒光纤放大器的性能。但是 通过对各种掺铒光纤放大器特性的深入分析,我们发现还有进一步改进的余地,建议的新型放大器结构如图 1(b)所示。这种新型掺铒光纤放大器与图 1(a)结构的主要不同是用一个 980 nm 耦合器代替了原结构中的一个 1550 nm/980 nm 波分复用耦合器,使得新结构既考虑了抽运光功率的充分利用,能够根据需要合理地分配抽运光功率,又减小了信号光路的损耗,可以进一步改善光纤放大器的特性。

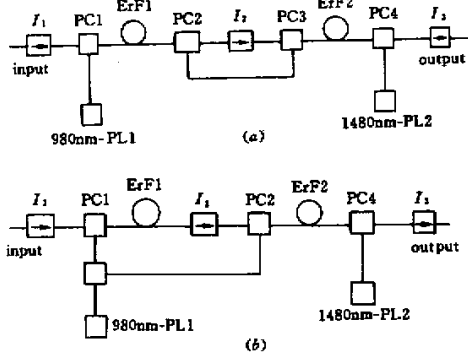


图 1 修正的(a)和新的(b)掺铒光纤放大器

I_1, I_2 和 I_3 : 光学隔离器; PC1, PC2 和 PC3 :1550 nm/980 nm 波分复用器; PC4 :1550 nm/1480 nm 波分复用耦合器; ErF1, ErF2 : HE980 和 MP980 掺铒光纤; C :980 nm 耦合器 ;980 nm-PL1 和 1480 nm-PL2 :980 nm 和 1480 nm 抽运激光器

Fig. 1 Modified (a) and new (b) erbium-doped fiber amplifier

I_1, I_2 and I_3 : isolator; PC1, PC2 and PC3 :1550 nm/980 nm WDM coupler; PC4 :1550 nm/1480 nm WDM Coupler; ErF1 and ErF2 : HE980 and MP980 EDF; C :980 nm coupler; 980 nm-PL1 and 1480 nm-PL2 :980 nm and 1480 nm pump laser

3 理论分析比较

在饱和增益输出的两级掺铒光纤放大器中,如果第一级和第二级使用的是同种掺铒光纤,例如都是 HE980 或者都是 MP980 掺铒光纤,整个掺铒光纤放大器的综合特性难以令人满意,特别在带宽特性方面,与我们讨论的两种结构相差很多。下面我们利用分析掺铒光纤的 Giles 模型^[3]理论,结合掺铒光纤模场的 Myslinski 高斯近似^[4]建立的数值分析方法程序的计算具体来比较图 1(a)(b)两种结构的

特性。在理论模拟时,上述两种掺铒光纤放大器的所有元器件的参数选择是一样的,唯一的不同是在新结构中的 980 nm 耦合器和修正结构中的 1550 nm/980 nm 波分复用耦合器。第一级用 10 m 的 HE980 掺铒光纤,第二级用 20 m 的 MP980 掺铒光纤,前向抽运用波长为 980 nm,输出功率为 150 mW 的激光器,反向抽运用波长为 1480 nm,输出功率为 150 mW 的激光器,每次只有一个波长光信号输入,输入功率都是 -20 dBm。计算结果如图 2(a)(b)所示,曲线 1 表示修正的掺铒光纤放大器的结果,其他线表示新型掺铒光纤放大器的结果。其中,曲线 4 是 980 nm 耦合器的分束比为 10/90 时的结果,曲线 2 是 980 nm 耦合器的分束比为 30/70 时的结果,曲线 3 是 980 nm 耦合器的分束比为 50/50 时的结果,分束比的分子对应于输到 HE980 掺铒光纤的功率。

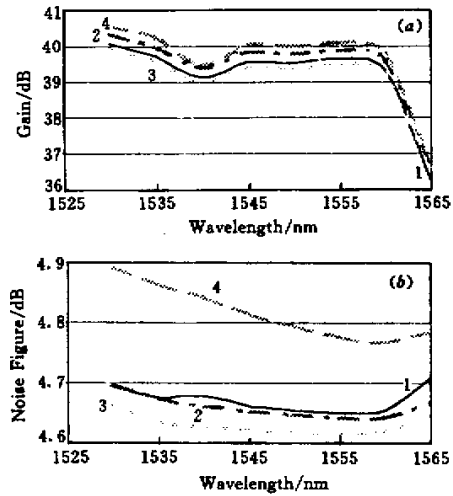


图 2 两种 EDFA 的增益-波长曲线(a)和噪声-波长曲线(b)

Fig. 2 Gain vs wavelength (a) and noise figure vs wavelength (b) for two EDFAs

图 2(a)表明,新型掺铒光纤放大器的增益特性和 980 nm 耦合器的分束比有很大关系,10/90 分束比的增益最大,30/70 分束比的增益次之,50/50 分束比的增益最小,即前向抽运功率越大部分被用到抽运 MP980 掺铒光纤,输出增益就越大,和修正的掺铒光纤放大器的增益比较,10/90 分束比的增益改善大于 0.45 dB,30/70 分束比的增益改善大于

0.2 dB 以上,但是,50/50 分束比的增益却小了 0.1 dB 以上,在 1530 nm 到 1560 nm 整个波长范围内,两种结构的放大器都有很好的增益平坦特性,即在这个波长范围内任意波长输入的光信号都有基本相等的增益,最大的增益差在 1 dB 之内,增益的平坦性得益于 HE980 和 MP980 铒光纤的优化组合,理论模拟显示如果没有进行 HE980 和 MP980 铒光纤的优化组合,在这么大的波长范围内要求增益平坦性小于 1 dB 是不可能的。图 2(b)表明,新型掺铒光纤放大器的噪声特性也和 980 nm 耦合器的分束比有很大关系,10/90 分束比的噪声最大,30/70 分束比的噪声次之,50/50 分束比的噪声最小,即前向抽运功率越大部分被用到抽运 MP980 铒光纤,输出噪声也越大,和修正的掺铒光纤放大器的噪声特性相比,10/90 分束比的噪声较大,而 30/70 和 50/50 分束比的噪声特性有改善。上述结果表明,新型掺铒光纤放大器比修正的掺铒光纤放大器有一定的优越性,能够方便地通过选择耦合器的分束比优化放大器的特性。

4 结 论

提出了一种新结构的掺铒光纤放大器,它不但可以进一步改善该类放大器的特性,通过选用不同分束比的 980 nm 耦合器可以灵活地控制掺铒光纤放大器的增益和噪声特性,而且 980 nm 耦合器比 1550 nm/980 nm 波分复用耦合器便宜,可降低成本。

参 考 文 献

- 1 Felton A. Flood. L-band Erbium-Doped Fiber Amplifiers. Optical Fiber Communication Conference, OSA Technical Digest (Optical Society of America, Washinton DC, 2000) WG1-1-WG1-4
- 2 Hiroji Masuda. Review of Wideband Hybrid Amplifiers. Optical Fiber Communication Conference, OSA Technical Digest (Optical Society of America, Washinton DC, 2000) TuA1-1-TuA1-6
- 3 C. Randy. Giles, Emmanuel. Desurvire. Modeling erbium-doped fiber amplifiers. *J. Lightwave Technol.*, 1991, **9** (2) 271~283
- 4 Piotr. Myslinski, Dung Nguyen, Jacek Chrostowski. Effects of concentration on the performance of erbium-doped fiber amplifiers. *J. Lightwave Technol.*, 1997, **15**(1): 112~120