

文章编号: 0253-2239(2004)11-1530-3

L 波段掺铒光纤放大器的自发辐射谱与增益的研究*

葛春风 谭 莉 丁永奎 胡智勇 倪文俊 刘俭辉 李世忱

(天津大学精密仪器与光电子工程学院教育部光电信息技术科学重点实验室, 天津 300072)

摘要: 利用 Giles 模型对 L 波段掺铒光纤放大器小信号增益特性进行了数值模拟, 模拟结果表明最佳铒纤长度并不是一定值, 它随输入信号波长的不同而改变, 较短的波长对应较短的光纤长度; 在数值模拟、分析的基础上, 分别采用 7 m 和 9 m 的 L 波段铒光纤构成长波段掺铒光纤放大器, 通过实验测量, 分析比较了它们的自发辐射谱以及增益和噪声指数, 得到了光纤长度对 L 波段增益谱、噪声指数和自发辐射谱的影响规律; 最后, 辅以 C 波段掺铒光纤放大器加以分析, 指出了适合于放大 L 波段信号的最佳自发辐射谱型。

关键词: 长波段掺铒光纤放大器; 放大的自发辐射; 增益; 噪声指数

中图分类号: TN722.7 文献标识码: A

Research on Amplified Spontaneous Emission and Gain of L-Band EDFA

Ge Chunfeng Tan Li Ding Yongkui Hu Zhiyong Ni Wenjun Liu Jianhui Li Shichen

(Laboratory of Optoelectronic Information Science and Technology, EMC, College of Precision Instrument and Optoelectronics Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072)

(Received 2 June 2003; revised 11 June 2004)

Abstract: Gain characteristics of small signal in L-band Erbium-doped fiber amplifier (EDFA) are analyzed with the numerical simulation using Giles model. The results show that the optimal fiber length varies with input signal wavelength, in general, shorter wavelength demands shorter fiber length. 7 m and 9 m L-band EDF are employed to construct L-band EDFAs respectively. Evaluation of EDFAs is made by experimental comparison of their amplified spontaneous emission (ASE) spectr, gains and noise figures (NF), and the results show that the fiber length is crucial for proper gain characteristic. On the basis of these numerical, experimental study and also considering their C-band characteristics, optimal ASE spectrum related to the best behavior of L-band signal amplification is presented.

Key words: L-band Erbium-doped fiber amplifier; amplified spontaneous emission; gain; noise figure

1 引 言

随着网络化时代的到来,人们对信息的需求与日俱增,光纤通信也随之沿着超大容量、超高速、超长距离的方向蓬勃发展。为了满足扩容的要求,人们将目光从 C 波段^[1,2]扩大到 L 波段,因此长波段掺铒光纤放大器(L-band EDFA)成为近年来研究的热点之一^[3~5]。

直接采用 980 nm 单向抽运的结构,无论对于

研究 C 波段掺铒光纤放大器还是 L 波段掺铒光纤放大器来说,都是一种最简单、最基本的结构^[6]。近年来国内外的诸多报道中,一般采用几十米甚至上百米的传统 C 波段铒光纤作为增益介质^[7,8],构成 L 波段掺铒光纤放大器,然而铒纤长度过长将会对系统带来诸多不利影响^[9];在数值计算的基础上,测量了 7 m 和 9 m 的高掺杂 L 波段铒光纤自发辐射谱、增益与噪声指数,并提出了适合于放大 L 波段信号的最佳自发辐射谱型。

2 理论计算

采用如图 1 所示的方案,其中可调谐光源

* 天津市科技发展基金(033800411)及教育部光电信息技术科学重点实验室资助课题。

E-mail: shaben@c-fol.net

收稿日期:2003-06-02;收到修改稿日期:2004-06-11

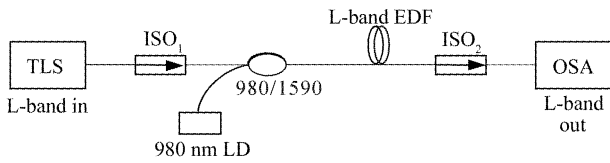


Fig. 1 Configuration of L-band EDFA pumped by 980 nm LD

(TLS)为丹麦 Photonetics 的可调谐外腔激光光源,波长范围为 1525~1625 nm;由于实验室暂没有适用于 L 波段的隔离器(ISO),采用美国 E-TEK 公司的两个 C 带的隔离器来代替,因此带来的损耗相对较大;波分复用器(WDM)为厦门安特的 WDM-1×2-980/1590-0;铒光纤为加拿大 Coractive 的高掺杂铒纤:EDF-L1500,掺杂浓度为 $6.4 \times 10^{25} / \text{m}^3$;光谱分析仪(OSA)为日本 ANDO 的 AQ-6315A。结合实验室的条件,选用 980 nm 抽运管的输出功率为 90 mW。当输入信号波长分别为 1570 nm, 1590 nm, 1610 nm 时,由 Giles 模型^[10]计算所得光纤长度与信号增益的关系如图 2。图中各曲线的拐点即为输入信号功率为 -15 dBm 时,该波长处的最佳铒光纤长度。且由图可见,越往长波长方向,增益变小,而所需的光纤最佳长度变长,1570 nm 时大约为 6 m, 1590 nm 时约为 9 m, 1610 nm 时约为 12 m。这是由铒光纤的吸收谱和发射谱决定的。波长越长,需要更长的光纤以充分吸收抽运光,来提供更多的反转粒子数。同时它也说明,对于某一掺铒光纤放大器,其最佳铒光纤长度并不是一定值,它随输入信号波长的不同而改变。此外它还与输入信号功率,抽运

功率,掺杂浓度等因素都有关系。因此为确定放大器中的铒光纤长度,可以从其自发辐射谱来分析。

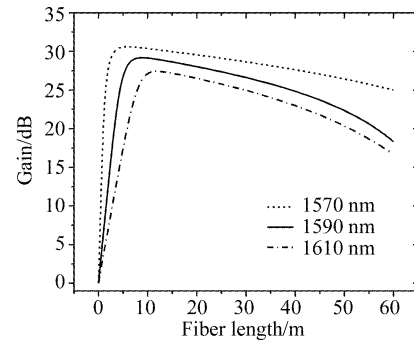


Fig. 2 Gain as a function of fiber length

3 实验研究及分析讨论

首先比较一下 L 波段和 C 波段放大器自发辐射谱的不同之处,如图 3。其中图 3(a)图所用的铒光纤是高掺杂的 L 波段铒光纤:EDF-L1500;而图 3(b)图的增益介质为 Lucent 的 C 波段铒纤,EDF-MP980。由图可见,在波长大于 1570 nm 处,L 波段掺铒光纤放大器的自发辐射谱呈上凸形状,这对于放大 L 波段的信号较为有利,也是它与 C 波段掺铒光纤放大器[图 3(b)]的不同之处,图 3(b)中 C 波段掺铒光纤放大器的自发辐射谱尾部是凹下去的,反转粒子数几乎都被用于提供 C 波段信号的增益,而不利于放大 L 波段的信号。两种波段放大器自发辐射谱的不同,反映了它们的吸收截面、发射截面的差异。

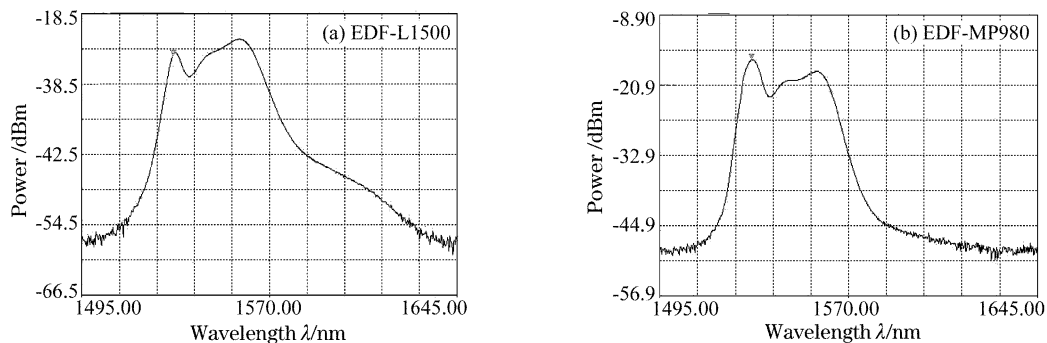


Fig. 3 Amplified spontaneous emission (ASE) of L-band EDFA (a) and C-band EDFA (b)

图 3(a)所用的 L 波段铒纤长度为 7 m,抽运功率为 100 mW,此时通过逐点法测得的增益和噪声指数如图 4,在 1568 nm 到 1590 nm 的波长范围内,增益都能接近 15 dB 或以上,且 1570 nm 处的增益大于 21 dB,只是到了波长大于 1600 nm 处,下降的幅度才较大。

同样在抽运功率为 100 mW 时,以 9 m 的 L 波段铒光纤作为放大器的增益介质,测得不同抽运功率下的自发辐射谱和增益与噪声指数如图 5。与图 3(a)相比,其自发辐射谱尾部上凸的幅度相对 1560 nm 峰值处较大,且此时 1530 nm 处的峰值明显低于 1560 nm 处,而图 3(a)中,两处峰值持平,说明图 5(a)所示的

粒子数反转程度较图 3(a)低。而图 5(b)中,尽管所测的最大增益为 18.5 dB,但相对图 4 其增益却要平

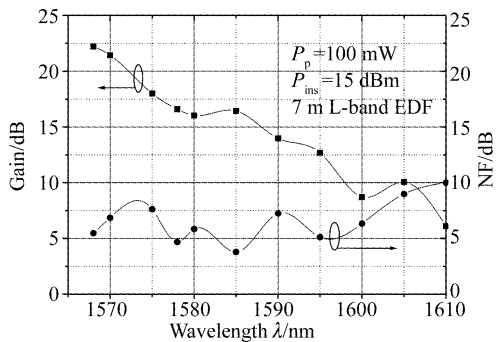


Fig. 4 Gain and noise figure (NF) of L-band EDFA with 7 m L-band EDF as a function of wavelength

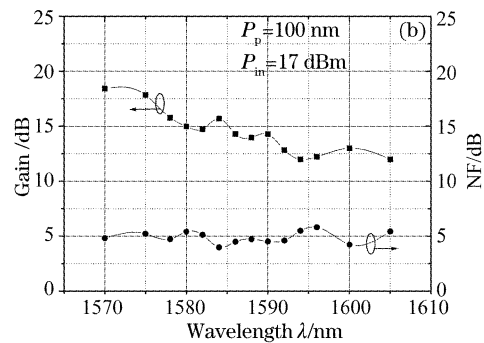
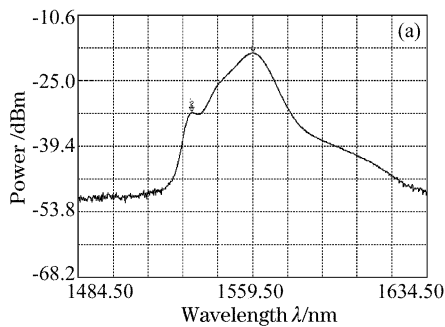


Fig. 5 Experimental results of L-band EDFA with 9 m L-band EDFA (a) amplified spontaneous emission (ASE), (b) Gain and noise figure (NF)

结论 综上所述,自发辐射谱形状的变化,反映了铒光纤中平均粒子反转度的变化。要放大 L 波段信号,必须使平均粒子反转度处于非饱和的状态,且平均粒子反转度越低,越有利于放大波长越长处的信号,增益越平坦,但要以增益降低为代价。

参 考 文 献

- 1 Chen Genxiang, Li Tangjun, Liu Chunling *et al.*. Study on fiber grating filters for gain flattening. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 1999, **19**(10): 1315~1317 (in Chinese)
- 2 Du Geguo, Chen Guofu, Liu Dongfeng. Theoretical studies on the distribution of pump power for 980 nm-pumped erbium-doped fiber amplifier. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 2000, **20**(2): 175~180 (in Chinese)
- 3 Bo-Hun Choi, Hyo-Hoon Park, Moojung Chu *et al.*. High-gain coefficient long-wave-band erbium-doped fiber amplifier using 1530-nm band. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2001, **13**(2): 109~111
- 4 Aydin Yeniay, Renyuan Gao. Single stage high power L-band EDFA with multiple C-band seeds. *OFC'2002*, ThJ2, 2002. 457~458
- 5 Meng Hongyun, Yang Shiquan, Yuan Shuzhong *et al.*. L-band Er^{3+} -doped fiber amplifier based on backward ASE. *Chin. J. Lasers* (中国激光), 2002, **A29**(10): 905~907 (in Chinese)
- 6 Liu Bin, Sun Junqiang. Gain enhancement of two stage L-band EDFA pumped by C-band and 980 nm. *Chin. J. Lasers* (中国激光), 2003, **30**(10): 917~920 (in Chinese)
- 7 Min Bumki, Yoon Hosung, Lee Won Jae *et al.*. Coupled structure for wide-band EDFA with gain and noise figure improvement from C to L-band ASE injection. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2000, **12**(5): 480~482
- 8 Di Muro Rodolfo, Dan Lowe, Steve Wilson. Broad-band amplification using a novel amplifier topology. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2001, **13**(10): 1073~1075
- 9 Flood F A. L-band erbium-doped fiber amplifiers. *OFC'2000*, WG1-2, 2000
- 10 Giles C R, Desurvire E. Modeling erbium-doped fiber amplifiers. *J. Lightwave Technol.*, 1991, **9**(2): 271~283